

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Produção de combustíveis e de energia eléctrica a partir da Biomassa lenhocelulósica

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

Fernando José Artilheiro Antunes

Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade, S.A.



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Departamento de Engenharia Química

Orientador na FEUP: Professor Doutor José Luís Cabral da Conceição Figueiredo

Orientador na empresa: Engenheiro Carlos Manuel da Silva Cardoso

Junho de 2008

Agradecimentos

Ao Engenheiro Carlos Cardoso, Administrador da Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA, agradeço o desafio que me colocou para o desenvolvimento desta temática no seio da Jayme da Costa SA, as horas que me dedicou na orientação dos meus trabalhos de Mestrado e o patrocínio financeiro do mesmo.

Ao Professor Doutor José Luís Figueiredo, Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, agradeço os ensinamentos ministrados ao longo de anos e a dedicação e disponibilidade que sempre evidenciou na orientação dos meus trabalhos de Mestrado.

Resumo

As crescentes necessidades energéticas a par das condicionantes ambientais que lhes estão associadas têm determinado diversos estudos e desenvolvimentos na área da Engenharia. Um dos desafios mais importantes neste domínio tem sido a identificação de tecnologias que visem o desenvolvimento de formas de produção de combustíveis e de energia eléctrica que não tenham impactes ambientais negativos funcionando como sistemas alternativos à produção de energia a partir dos combustíveis de origem fóssil. A Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA, empresa que actua ao nível da produção de Aparelhagem Eléctrica e Realização de Instalações Eléctricas nos vários ramos da Energia, pretende adquirir competências ao nível da implementação de sistemas de produção de energia, com vista à produção de combustíveis e de energia eléctrica, a partir de biomassa lenhocelulósica. Com os resultados obtidos neste trabalho ficou a conhecer-se o estado actual de conhecimento neste domínio assim como se identificaram fabricantes de equipamentos.

A análise das diversas alternativas existentes para a conversão da Biomassa em Energia levou ao estudo mais aprofundado dos processos de Gasificação e de Pirólise, ao nível das tecnologias disponíveis e das respectivas eficiências. A pesquisa de mercado evidenciou uma menor disponibilidade de fabricantes a actuar ao nível da Pirólise quando comparada com a Gasificação. Na posse de informação técnica e financeira sobre os equipamentos de diversos fabricantes foi realizado um estudo de viabilidade económica de uma instalação de gasificação para a produção de 2 MW de energia eléctrica. Os resultados evidenciaram um VAL positivo no final do décimo ano, admitindo a venda por MW produzido a 110 €, considerando uma taxa de 15% ao ano e um custo de 20 € por tonelada de Biomassa utilizada. A análise de sensibilidade demonstrou a elevada influência que o custo da biomassa tem na viabilidade deste tipo de processo, afectando de sobremaneira a atractividade deste tipo de projectos.

Os trabalhos não terminaram neste ponto, prosseguindo na Jayme da Costa com vista à constituição de relação de parceria com um fabricante de equipamentos de gasificação ou pirólise, num contexto de instalação tipo 'chave-na-mão'. Será necessário acompanhar a evolução dos preços de custo da matéria-prima e do valor de venda do MW produzido em Portugal e a sua comparação com os valores no estrangeiro, pela influência que causam na viabilidade deste tipo de projectos. Independentemente do tipo de projectos que a Jayme da Costa SA venha a desenvolver nestes domínios, é possível concluir que a Biomassa, em particular, a exploração da biomassa lenhocelulósica é uma alternativa que irá ocupar um papel de relevo no panorama das Energias Renováveis.

Palavras Chave (Tema): Biomassa; Gasificação; Pirólise; Energia.

Abstract

The increasing energy demands along with the related environmental constraints have determined a large number of studies and developments in Engineering. One of the most important challenges in this domain has been the identification of technologies aiming at the development of fuel and electric energy production which do not carry negative environmental impacts, functioning as alternative systems to the production of energy from fossil fuels. Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA is a company that operates in the production of Electric Equipment and implementation of Electric Installations in several Energy fields, which intends to acquire know-how in the implementation of energy production systems, in order to produce fuels and electric energy, from lignocellulosic biomass. With the results of this work the state of the art in this domain was acquired, as well as the identification of equipment manufacturers.

Analysis of the different alternatives for the conversion of Biomass into Energy, led to a deeper study of the Gasification and Pyrolysis processes, regarding the available technologies and their efficiencies. The market research made clear the shortage of manufacturers in the Pyrolysis field when compared to Gasification. In the possession of technical and financial information regarding the equipments of several manufacturers, the economical viability study of a 2 MW electrical power production facility was developed. The results showed a positive NPV at the end of the tenth year, assuming a sell price of 110 € for each MW produced, a 15% rate and 20 € for each ton of biomass. The sensibility analysis showed the large influence of the biomass cost in the pay-back time of this type of facilities, affecting significantly the attractiveness of this type of projects.

The work did not end at this point, and is being continued in Jayme da Costa SA in order to establish a partnership with one gasification or pyrolysis manufacturer in a 'turn-key' basis installation. It will be necessary to follow the evolution of the biomass prices and the sell price of the MW produced, both in Portugal and abroad, due to the influence of this issue in the economical viability of this type of projects. Independently of the type of projects that Jayme da Costa SA will develop, it can be concluded that Biomass, in particular the lignocellulosic biomass, is a renewable energy source that will play an important role in the future.

Key Words (Theme): Biomass; Gasification; Pyrolysis; Energy.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projecto	1
1.2	Objectivo do Projecto de Desenvolvimento.	1
1.3	Contributos do Trabalho	3
2	Apresentação da Empresa	4
3	As necessidades de Energia	7
4	A problemática das emissões de CO₂.	15
5	A produção de energia a partir da Biomassa	18
5.1	Processos de conversão	19
5.2	Processos de produção de biocombustíveis	21
5.2.1	A extracção e produção de ésteres a partir de sementes de oleaginosas	22
5.2.2	A fermentação de açúcares para a produção de etanol e butanol	22
5.2.3	A produção de etanol a partir de biomassa lenhocelulósica	22
5.2.4	A produção de metanol, hidrogénio e hidrocarbonetos por gasificação ou pirólise	23
5.3	Os custos de produção de biocombustíveis por intermédio da Biomassa	24
5.4	Aproveitamentos energéticos da Biomassa na Comunidade Europeia e em Portugal	25
6	A Gasificação e a Pirólise	28
6.1	Gasificação	28
6.1.1	Tecnologias de gasificação	29
6.2	Pirólise	32
6.2.1	Tecnologias de Pirólise:	33
6.2.2	Características do óleo de pirólise.	35
6.3	Estudo comparativo da Gasificação e da Pirólise Flash	37
6.4	Identificação de fabricantes de unidades de gasificação e pirólise flash	38
6.5	Estudo de Viabilidade Económica de uma instalação de Gasificação:	39
7	Desenvolvimentos futuros	45

8	Conclusões.....	46
9	Referências Bibliográficas	47

Índice de figuras.

<i>Figura 1 - Aumento do consumo de energia primária na produção de energia eléctrica (2005-2030) (2)</i>	8
<i>Figura 2 - Cenário de redução das emissões de CO2 em 2050 - Fonte: OECD Environmental Outlook to 2030 (2).</i>	9
<i>Figura 3 - Taxas de crescimento anual de fontes de energia renováveis (1990 a 2005) (4)</i>	10
<i>Figura 4 - Distribuição das fontes na produção de energia eléctrica no mundo - 2005 (4).</i>	11
<i>Figura 5 - Emissões de CO2 a partir da combustão de combustíveis fósseis de 1870 a 2004 (3).</i>	15
<i>Figura 6 - Mecanismos de conversão da biomassa ((16))</i>	20
<i>Figura 7 - Produção de Etanol a partir de Biomassa Lenhocelulósica (20)</i>	23
<i>Figura 8 - Produção de Metanol, Hidrogénio Diesel e Electricidade a partir da Gasificação de Biomassa (20).</i>	24
<i>Figura 10 - Reactor de leito fixo em contra corrente (26)</i>	30
<i>Figura 9- Reactor de gasificação em Leito Fixo em Co-corrente (26)</i>	30
<i>Figura 11 - Pirólise flash em reactor de leito fluidizado. (26)</i>	34
<i>Figura 12 - Pirólise flash em reactor cónico (26)</i>	34
<i>Figura 13 - Bio-Refinaria com as diversas opções no processamento de biomassa para a produção de combustíveis e produtos químicos (17).</i>	36
<i>Figura 14 - Comparação dos custos potenciais de produção de energia eléctrica (27).</i>	37
<i>Figura 15 - Custos de produção de electricidade para cada uma das tecnologias (custos actuais) (27)</i>	38

Índice de Tabelas.

<i>Tabela 1- Consumos de energia primária 2005 - 2030 - Fonte: OECD Environmental Outlook to 2030 (2).</i>	7
<i>Tabela 2 - Produção de Energia Eléctrica em Portugal a partir de fontes renováveis (GWh) (4)</i>	12
<i>Tabela 3 - Capacidade instalada de energias renováveis em Portugal (MW) (4)</i>	13
<i>Tabela 4 - Métodos de gasificação (17).</i>	29
<i>Tabela 5 - Tipos de Pirólise, condições e produtos obtidos</i>	32
<i>Tabela 6 - Comparação das propriedades do óleo de pirólise e o Diesel (27)</i>	35
<i>Tabela 7 - Referências de Gasificadores e tecnologias utilizadas</i>	39
<i>Tabela 8 - Custos iniciais e custos de exploração anuais.</i>	41
<i>Tabela 9 - Proveitos anuais da instalação</i>	41
<i>Tabela 10 - Cálculo do retorno do investimento da unidade de gasificação de 2MWe.</i>	41
<i>Tabela 11 - Estudo de viabilidade considerando 40 €/tonelada e 160 € / MW produzido</i>	44

Notação e Glossário

EJ	Exa Joule
GJ	Giga Joule
MVA	Mega Volt.Ampere
MW	Mega Watt - 10^6 Watt
MW _e	Mega Watt Eléctrico
MW _{th}	Mega Watt Térmico
TWh	Tera Watt Hora
kW _e	Kilo Watt Eléctrico
GJ _{HHV}	Giga Joule Poder Calorífico Superior

Lista de Siglas

ANIMEE	Associação Portuguesa das Empresas do Sector Eléctrico e Electrónico
APCER	Associação Portuguesa de Certificação
BIG/CC	Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine
BTG	Biomass Technology Group BV
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CHP	Combined heat and power
DGA	Direcção Geral do Ambiente
DGEG	Direcção Geral da Energia e Geologia
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GTL	Gas to Liquid
HHV	Higher Heating Value - Poder Calorífico Superior.
IEA	International Energy Agency
IPQ	Instituto Português da Qualidade
NPV	Net Present Value
NO _x	Óxidos de Azoto
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCC	Post-Combustion Capture of CO ₂
ppmv	Partes por milhão volume
tCO ₂ eq	Toneladas de CO ₂ equivalente
toe	Toneladas de petróleo equivalente
UE	União Europeia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VAL	Valor Actual Líquido

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular de Projecto de Desenvolvimento - em Ambiente Empresarial - do 5º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na empresa Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA.

As crescentes necessidades energéticas a par das condicionantes ambientais que lhes estão relacionadas, nomeadamente com a emissão de gases com efeito de estufa, têm determinado diversos estudos e desenvolvimentos na área da Engenharia. Um dos desafios mais importantes neste domínio tem sido a identificação de técnicas que visem o desenvolvimento de formas de produção de combustíveis e de energia eléctrica que respeitem o meio ambiente e funcionem como sistemas alternativos à produção de energia a partir dos combustíveis de origem fóssil. Neste domínio, particular atenção tem sido dada à produção de energia a partir da Biomassa, seja para a produção de energia eléctrica seja para produção de combustíveis, tendo a Engenharia Química um papel determinante.

A Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA é uma empresa que actua ao nível da produção de Aparelhagem Eléctrica e Realização de Instalações Eléctricas nos vários ramos da Energia. Há muitos anos que actua na instalação, desenvolvimento e colocação em serviço de equipamentos e instalações de produção de energia Hídrica, Eólica e Fotovoltaica. Dada a actual conjuntura ao nível das energias renováveis, pretende a Jayme da Costa SA adquirir competências ao nível da implementação de sistemas de produção de energia, com vista à produção de combustíveis e de energia eléctrica, a partir de biomassa lenhocelulósica. Pretendeu-se, assim, com o resultados obtidos neste trabalho, conhecer os diversos processos existentes neste domínio, identificando o estado de conhecimento e de desenvolvimento de cada um deles, e proceder à identificação de fabricantes de equipamentos nestes domínios para a eventual constituição de uma área de negócio neste domínio.

1.2 Objectivo do Projecto de Desenvolvimento.

Actuando a Jayme da Costa SA já ao nível das energias renováveis, pela realização de aproveitamentos hidroeléctricos, realização das infraestruturas eléctricas e civis de parques eólicos, e ao nível da instalação ‘chave-na-mão’ de centrais de produção de energia fotovoltaica, pretendeu-se abordar o mercado da produção de energia a partir da Biomassa,

atendendo às potencialidades que este tipo de recurso apresenta. Em alguns projectos, a Jayme da Costa já tinha participado na realização da componente eléctrica de instalações de produção de energia a partir de Biogás.

A produção de combustíveis e/ou a produção de energia eléctrica foram considerados os principais objectivos que se colocavam. Para tal, foi necessário dotar a empresa de conhecimentos específicos e detalhados neste domínio promovendo-se para isso a investigação sobre o estado da arte nos aproveitamentos energéticos da Biomassa. A investigação realizada teve, necessariamente, que abordar a problemática do consumo energético no planeta, as fontes de energia e os impactes ambientais que lhe estão associados. A problemática das emissões de CO₂ estão intimamente ligadas à produção e consumo de combustíveis quer para a produção de energia eléctrica quer para os transportes. Os principais dados recolhidos estão apresentados nos capítulos nº 3 e 4.

O estudo evoluiu para as diversas alternativas existentes ao nível dos biocombustíveis, identificando as suas fontes e processos produtivos. A alternativa de produção de energia eléctrica foi considerada nesta investigação não só como aplicação do combustível, mas também a possibilidade de exploração do próprio combustível. São abordados os processos de conversão, os processos de produção de biocombustíveis e ainda o estado actual e planos futuros dos aproveitamentos energéticos da biomassa na Comunidade Europeia e em Portugal. Com o conhecimento obtido nesta fase, foi decidido que se optaria pela exploração da biomassa lenhocelulósica ao nível de duas alternativas: a Pirólise Flash e a Gasificação. A combustão não foi considerada atendendo ao facto de se apresentar num estado bastante desenvolvido e implementado no que se refere à produção de energia eléctrica mas não possibilitando a exploração ao nível de combustíveis. Acresce o facto de apresentar alguns problemas de índole ambiental como sendo a emissão de NO_x. Uma análise comparativa entre os dois tipos de processos foi necessária para identificar o estado de desenvolvimento de cada uma delas e, ao mesmo tempo, tentar identificar os potenciais custos que decorriam da aplicação destas tecnologias à produção de energia eléctrica. Os principais dados recolhidos estão apresentados nos capítulos nº 5 e 6.

Nos capítulos 7 e 8, são apresentados os desenvolvimentos futuros e as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho.

Atendendo à vasta informação que foi recolhida durante a pesquisa, optou-se por colocar aquela que foi considerada como mais relevante para a compreensão dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Projecto de Desenvolvimento.

1.3 Contributos do Trabalho

Com os resultados deste trabalho, a Jayme da Costa SA, ficou conhecedora das diversas alternativas existentes, à luz do actual conhecimento científico, na produção de biocombustíveis e nos aproveitamentos energéticos da Biomassa. No âmbito do trabalho realizado, foram também identificados os principais fabricantes de equipamentos e os custos inerentes à implementação de sistemas de gasificação. A análise de viabilidade económica permitiu a determinação da influência que os diversos custos que intervêm neste tipo de projectos podem influenciar os resultados.

2 Apresentação da Empresa

Fundada em 1916, a Jayme da Costa foi desde sempre uma conceituada empresa de engenharia e instalações eléctricas de alta, média e baixa tensão (até aos 72,5 kV), bem como representante e distribuidora para Portugal e províncias ultramarinas, das mais variadas multinacionais, entre as quais, citando somente as mais prestigiadas a nível mundial, a ASEA, a Volvo Penta, a Sandvik e a Landis & Gyr.

A Jayme da Costa manteve sempre uma boa "imagem de marca" graças à sua reputação de qualidade quer do seu material, quer das suas instalações, e foi considerada durante muito tempo a empresa líder e pioneira no mercado.

É conhecida pelas inovações introduzidas na indústria e empresas de produção e distribuição eléctricas, algumas das quais inclusive, adoptadas como referência para outros fabricantes ou mesmo norma de utilização para as já citadas empresas. Foi também famosa a sua escola de formação profissional e a sua edição de manuais técnicos que manteve durante muitos anos, e que são ainda hoje referência reconhecida pela maioria dos técnicos e engenheiros com experiência no sector.

Historicamente, a Empresa sempre deteve uma importante "quota de mercado" em certos segmentos da indústria, como o sector têxtil, confecções, cortiça e de calçado, com especial predominância para o Norte de Portugal, mais industrializado e muito activo.

O relacionamento com as produtoras e distribuidoras de energia eléctrica sempre foi excelente, desenvolvendo a Jayme da Costa, constantemente e em esforço conjunto, vários produtos específicos às necessidades locais.

A Jayme da Costa desenvolveu também actividades em Moçambique e Angola, chegando mesmo a possuir uma filial com fabrico próprio em Luanda, onde foi responsável por uma boa parte da electrificação rural e urbana daquele País. Estas actividades cessaram após a independência desses Países à excepção de esporádicos negócios.

Em 1996, a empresa foi certificada pelo Instituto Português da Qualidade segundo a norma NP EN ISO 9002. Foram também atribuídas pelo IPQ em 1996, licenças para uso de marca produto certificado para diversos produtos fabricados pela Jayme da Costa.

Em 1997 a Jayme da Costa adquiriu 100% do capital da MARPE - Construções e Instalações Técnicas, S.A., empresa com sede em Setúbal, sendo a sua actividade principal as instalações eléctricas.

As suas preocupações ambientais levam à entrada em serviço, em 1997, de uma ETAR e à subscrição do contrato de adaptação ambiental entre a ANIMEE e a DGA, em 1998.

Em 1998 a Jayme da Costa foi certificada, pela APCER, segundo a norma NP EN ISO 9001 (certificado 96/CEP.403 de 1998/11/25). Ainda durante esse ano, iniciou-se um projecto de melhoria de processos, com vista à optimização dos processos da empresa suportado em tecnologias de informação adequadas. Assim, a par com a implementação da abordagem por processos, foi adquirido um novo sistema informático de gestão integrado, com funcionalidades acrescidas a todos os níveis, que serviu para suportar as melhorias preconizadas. No início de 1999 a Jayme da Costa criou o projecto Ambiente com vista à implementação de um Sistema de Gestão Ambiental segundo o modelo NP EN ISO 14001. Em 2001, obteve, pela APCER, a certificação ambiental segundo a ISO14001 (certificado 01/AMB.035).

No ano 2000, o Grupo Jayme da Costa alargou-se com a inclusão de mais duas empresas no seu seio, a Enerluz e a Ormacosta. A Enerluz é uma empresa já com alguns anos, cuja área de actividade é a produção de armários de distribuição, tendo sido adquirida pela Jayme da Costa. A Ormacosta, é uma empresa nova criada em parceria com a Ormazabal - Sociedade Comercialização de Equipamentos S.A., e cujo âmbito é a comercialização de postos de transformação MT.

Em Novembro de 2002, obteve a certificação pela APCER segundo a norma NP EN ISO9001:2000.

Em meados de 2003 é constituída a SISINT - Supervisão, Manutenção e Gestão de Redes de Energia, Lda empresa que se destina ao projecto e execução de instalações eléctricas técnicas especiais. Ainda durante 2003, a Jayme da Costa dá início à formalização do Sistema de Saúde, Higiene e Segurança no trabalho e a sua integração no Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente. Ficam assim as três componentes integradas no mesmo Sistema de Gestão - Qualidade, Ambiente e Segurança. Em 2007 o Sistema de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança foi certificado pela APCER segundo a OHSAS18001:1999/ NP 4397:2001 - (certificado 2007/SST.0130).

O grupo Jayme da Costa conta com cerca de 280 colaboradores contando a Jayme da Costa SA nos seus quadros com cerca de 120 colaboradores.

Em 2007, foi constituída a Jayme da Costa SGPS SA empresa esta que agora gere todas as participações das empresas que estavam englobadas no Grupo Jayme da Costa.

A actividade da Jayme da Costa divide-se em duas áreas:

- AE (Aparelhagem e Equipamentos): que trata da produção e venda de aparelhagem eléctrica e de equipamentos de Baixa e Média Tensão, nomeadamente Bases, Triblocos, Seccionadores, Interruptores seccionadores, Postos de Transformação e Quadros eléctricos de MT e BT. Para o efeito a Jayme da Costa possui instalações fabris com diversos meios metalo-mecânicos, electrificação, pintura e de ensaios mecânicos e eléctricos.

- EIE (Energia e Instalações Eléctricas): que trata da realização de instalações eléctricas de produção de energia eléctrica ao nível das hídricas, eólicas e foto-voltaica, na realização de instalações eléctricas industriais e montagens de postos de transformação de energia eléctrica.

Actualmente a área EIE representa cerca de 70% da actividade da Jayme da Costa SA, com grande enfoque na realização de obras ao nível das energias renováveis.

3 As necessidades de Energia

O actual desenvolvimento humano e económico determina necessidades de energia que se têm evidenciado crescentes ano após ano. É complexo o equilíbrio entre o desenvolvimento económico e os impactes ambientais daí decorrentes. Segundo o relatório “World Energy Outlook 2030” (1), as necessidades de energia irão aumentar cerca de 54% entre o ano de 2005 e 2030 (1,8% ao ano), continuando os combustíveis fósseis a liderar como fonte primária. O petróleo continuará a figurar em 2030 como sendo a principal fonte de energia primária apesar de se esperar uma redução de 3% da sua participação no cômputo geral das fontes de energia primária.

As três principais fontes de energia primária continuam a ser o petróleo, carvão e o gás natural. Na tabela 1 são apresentados os consumos das diversas fontes de energia primária em 2005 e as previsões para 2030.

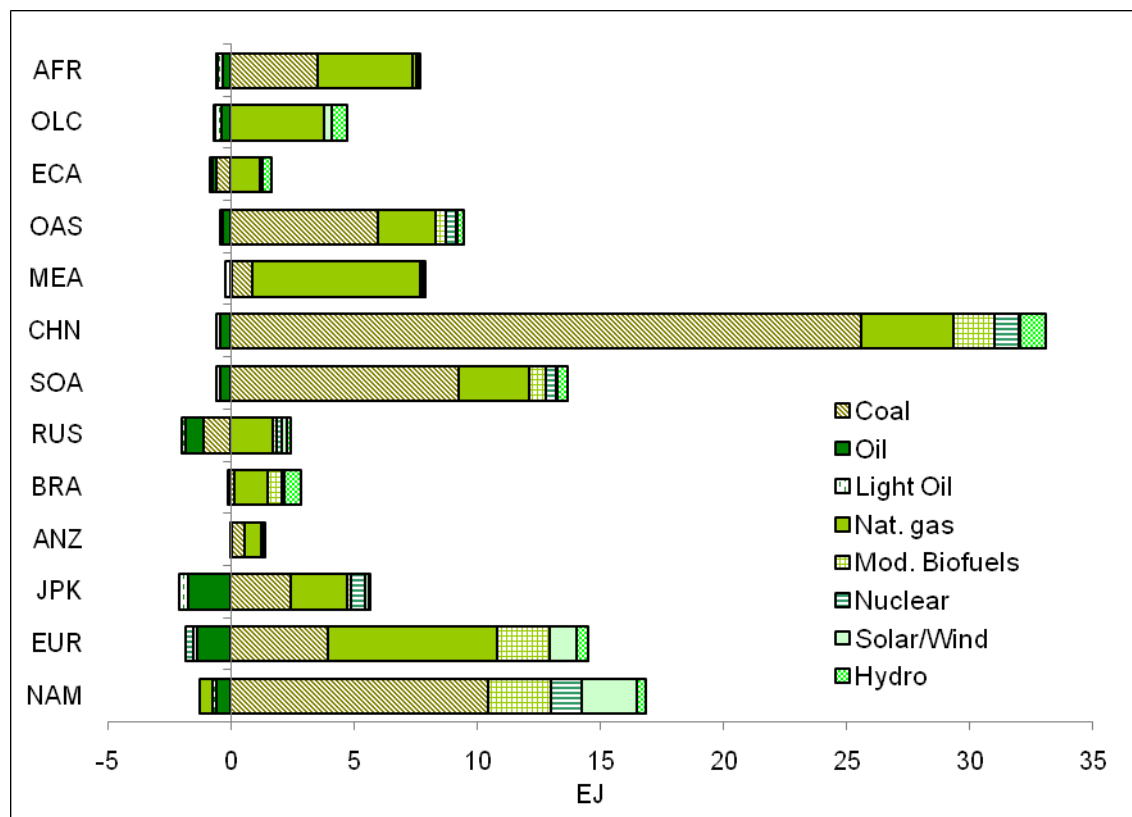
Tabela 1- Consumos de energia primária 2005 - 2030 - Fonte: OECD Environmental Outlook to 2030 (2).

	Quantidade em 2005 (EJ)	Percentagem do total em 2005	Quantidade em 2030 (EJ)	Percentagem do total em 2030
Carvão	129.0	27.9 %	198.1	27.7 %
Petróleo	168.1	36.4 %	239.0	33.5 %
Gás Natural	98.1	21.2 %	174.9	24.5 %
Biocombustíveis tradicionais	44.4	9.6 %	52.8	7.4 %
Biocombustíveis modernos	2.2	0.5 %	16.4	2.3 %
Nuclear	9.3	2.0 %	12.9	1.8 %
Solar / Eólico	0.6	0.1 %	4.9	0.7 %
Hidroeléctrica	10.5	2.3 %	15.1	2.1 %
Total	462.3	100 %	714.2	100 %

Como se pode verificar, pela análise da tabela 1, a dependência energética dos combustíveis fósseis irá manter-se também até 2030, muito embora se preveja uma diminuição da percentagem de utilização no caso do Carvão e do Petróleo, mantendo-se o aumento do consumo de Gás Natural. No que se refere às energias renováveis, verificar-se-á a substituição dos biocombustíveis tradicionais pelos modernos biocombustíveis, a par com o aumento da produção de energia eléctrica pela via solar e eólica.

Prevê-se um aumento do consumo de energia eléctrica que se cifra em 4% ao ano, pelo que a sua produção a partir de combustíveis fósseis, em particular do carvão, irá contribuir para a emissão

de gases com efeito de estufa. Destaca-se, em particular, a China com um aumento previsto de mais de 25% entre 2005 e 2030 na utilização de carvão.



Nota: NAM: North America (United States, Canada and Mexico); EUR (western and central Europe and Turkey); JPK: Japan and Korea region; ANZ: Oceania (New Zealand and Australia); BRA: Brazil; RUS: Russian and Caucasus; SOA: South Asia; CHN: China region; MEA: Middle East; OAS: Indonesia and the rest of South Asia; ECA: eastern Europe and central Asia; OLC: other Latin America; AFR: Africa.

Figura 1 - Aumento do consumo de energia primária na produção de energia eléctrica (2005-2030) (2)

No que se refere à produção de energia por fontes hídricas, a previsão 2005-2030 aponta para uma diminuição da sua relevância no cômputo geral, muito devido aos impactes ambientais que este tipo de produção pode causar. Tal como já foi referido, é de salientar o aumento expectável que os biocombustíveis modernos terão neste período, em substituição dos biocombustíveis tradicionais, prevendo-se também um aumento da utilização do gás natural e do carvão, na perspectiva que serão utilizados na produção de combustíveis líquidos.

Segundo a OCDE, em termos de consumo final de energia, o consumo nos transportes terá um aumento de cerca de 2% ao ano durante o período 2005-2030. A utilização de energia eléctrica evidenciará um aumento de 2,8% ao ano até 2030.

Este cenário originará uma contínua emissão de diversos poluentes que afectam negativamente o Ambiente. Tipicamente os poluentes que estão associados à poluição atmosférica decorrem da queima de combustíveis fósseis, como sendo o dióxido de enxofre, NO_x, partículas, metano e

COV. São conhecidos também os problemas ambientais decorrentes do transporte de combustíveis fósseis quer por via marítima, quer por via terrestre.

No que se refere às emissões de CO₂, em 1980, a indústria e serviços eram responsáveis por 39% das emissões, seguidas de perto pelas emissões resultantes da produção de energia (32%) e mais afastado pelos transportes, com 18%, sendo que as restantes eram de origem residencial. Nesse ano, as emissões globais cifravam-se em 32.9 GtCO₂eq. Para 2005, verificou-se um aumento de 43% nas emissões globais de CO₂eq e estima-se para 2030 um aumento de 37% face a 2005. Estamos, assim, a prever um aumento de 95% entre os anos de 1980 a 2050, o que corresponde a uma emissão de 64.1 GtCO₂eq. Se atendermos à distribuição por países, verificou-se que em 2005 o 'top-five' era constituído pelos Estados Unidos da América, China, Rússia, Japão e Índia que juntos são responsáveis por cerca de 50% das emissões globais (3). É de salientar a disparidade em termos de emissões 'per capita', já que os Estados Unidos da América com apenas 5% da população mundial são responsáveis por cerca das 21% das emissões mundiais. Em contrapartida, a China e a Índia juntas, contribuem com 40% da população mundial mas não ultrapassam 24% das emissões de CO₂ mundiais.

Como se pode verificar na Figura nº2 - gráfico da esquerda, se não forem implementadas políticas que visem o controlo e diminuição das emissões de CO₂, em 2050 é expectável atingirem-se emissões na ordem dos 70 GtCO₂eq com as consequentes alterações climáticas que lhe estão associadas. Os anos de 2010 a 2050 são determinantes para se conseguir minimizar as emissões de CO₂ e assim conseguir evitar os impactes ambientais severos.

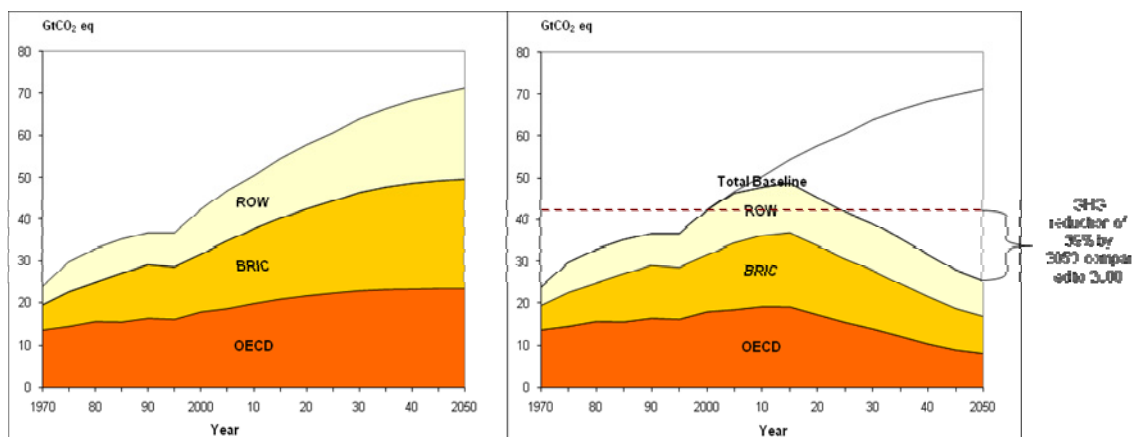


Figura 2 - Cenário de redução das emissões de CO₂ em 2050 - Fonte: OECD Environmental Outlook to 2030 (2).

Em termos de concentração de CO₂ na atmosfera, passou-se dos 383 ppm de 2005 para uma previsão de 465 ppm em 2030, o que corresponde a um aumento de 37% face ao ano de 1980. O atingir dos 465 ppm pressupõe, no entanto, que se adoptem um conjunto de práticas que evitem o contínuo aumento das emissões de CO₂ que hoje se verificam. Nesse cenário, ao invés do

contínuo aumento das emissões de CO₂, seria necessário reduzir, em 2050, as emissões face ao ano de 2000 em cerca de 39%. Muito embora se tratasse de um valor elevado e atendendo à inércia que as alterações climáticas apresentam, a concentração de 465 ppm é considerado um valor aceitável com um impacte ambiental não muito significativo.

O grande desafio é, certamente, conseguir a redução das emissões de CO₂ que derivam da utilização de combustíveis fósseis mantendo a mesma actividade económica. Urge, portanto, actuar no desenvolvimento de alternativas aos combustíveis fósseis, quer para a utilização nos transportes, quer na produção de energia eléctrica.

Em 2005, a produção de energia primária a partir de fontes renováveis é de apenas 12,7 % da quantidade total o que representa 1408Mtoe (Tonelada de Petróleo Equivalente) (4). Na distribuição desta quantidade em função dos vários tipos de energias renováveis, encontramos a Biomassa com 75,6% da quantidade total, seguida da hidroeléctrica com 17,4% e da geotérmica com 3,2%. A solar e a eólica representam ainda uma baixa percentagem na quantidade global mas, no entanto, a eólica é a fonte de energia renovável com maior crescimento nos últimos anos.

Na figura 3 apresenta-se o crescimento das fontes renováveis desde 1990 a 2005.

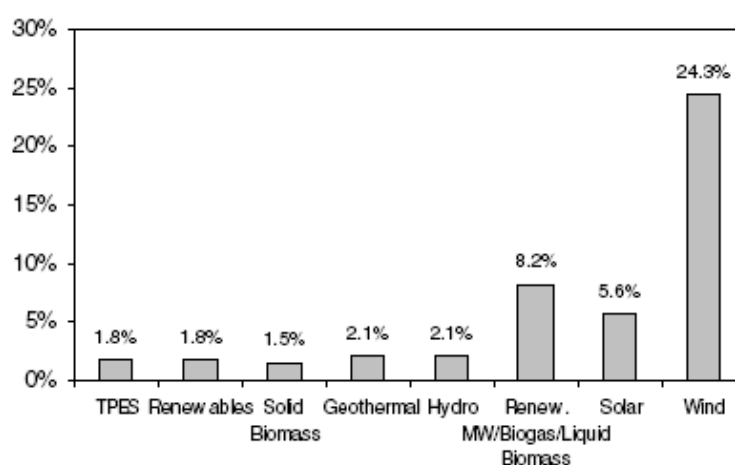
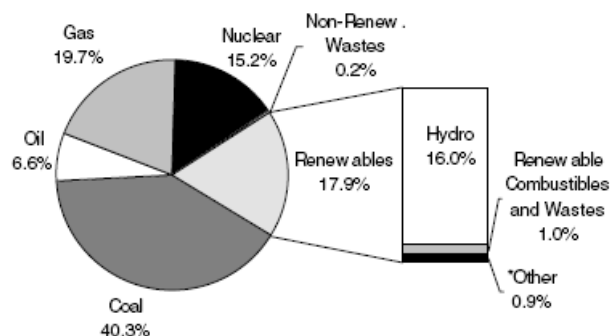


Figura 3 - Taxas de crescimento anual de fontes de energia renováveis (1990 a 2005) (4)

Verifica-se que o maior crescimento na produção de energia por fontes renováveis se centra na produção de energia eólica, seguida da biomassa não sólida e da solar.

Atendendo à elevada utilização da biomassa sólida nos países em desenvolvimento acabam por ser estas regiões que apresentam os maiores níveis de utilização de energia renovável. A produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis chama a si 17,9% da produção mundial, atrás do carvão e do gás e à frente da produção nuclear.



* Other: Geothermal, Wind, Solar, Tide.

Figura 4 - Distribuição das fontes na produção de energia eléctrica no mundo - 2005 (4).

A hidroelétrica é responsável por cerca de 89% da produção de energia eléctrica mundial, obtida por fontes renováveis, sendo os restantes 11% obtidos a partir dos combustíveis renováveis e outras fontes como a geotérmica, solar, eólica e as marés.

De salientar ainda que o crescimento da produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis tem apresentado um crescimento de 2,4% ao ano, inferior ao ritmo de crescimento da produção global - 2,9%. Esta situação leva a que nos dias de hoje a quantidade de energia eléctrica obtida por fontes renováveis seja inferior em 1,6% ao que se verificava em 1990.

Em Portugal, a produção de energia a partir de fontes renováveis em 2005 era de 12,9 %. Como se pode verificar pela tabela nº 2, no que toca à geração de energia eléctrica em Portugal a partir de fontes renováveis, a maior parte é obtida a partir da hidroelétrica, seguido pela eólica e biomassa sólida.

Tabela 2 - Produção de Energia Eléctrica em Portugal a partir de fontes renováveis (GWh) (4)

							Average annual percent change	
	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006e	90-05
Total Electricity	9998	9501	13517 e	18312 e	12860	8952	16483	-0.7
Hydro	9303	8454	11715	16054	10147	5118	11460	-3.9
of which: Pumped Storage	146	111	392	331	278	387	465	6.7
Geothermal	4	42	80	90	84	71	84	21.1
Solar Photovoltaics	1	1	1	3	3	3	3	7.6
Solar Thermal	-	-	-	-	-	-	-	-
Tide, Wave, Ocean	-	-	-	-	-	-	-	-
Wind	1	16	168	496	816	1773	2925	64.7
Industrial Waste	-	-	-	3	6	9	13	-
Municipal Waste Renew.	-	-	257 e	276 e	263	296	293	-
Municipal Waste Non-Renew.	-	-	257 e	275 e	262	296	293	-
Solid Biomass	689	987	1037	1112	1264	1351	1379	4.6
Gas from Biomass	-	1	2	3	15	35	33	-
Liquid Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb. Renewables Non-Specified	-	-	-	-	-	-	-	-
of which:								
Electricity Only Plants	9309	8513	12485 e	17240 e	11649	7658	..	-1.3
Hydro	9303	8454	11715	16054	10147	5118	..	-3.9
of which: Pumped Storage	146	111	392	331	278	387	..	6.7
Geothermal	4	42	80	90	84	71	..	21.1
Solar Photovoltaics	1	1	1	3	3	3	..	7.6
Solar Thermal	-	-	-	-	-	-	-	-
Tide, Wave, Ocean	-	-	-	-	-	-	-	-
Wind	1	16	168	496	816	1773	..	64.7
Industrial Waste	-	-	-	3	6	9	..	-
Municipal Waste Renew.	-	-	257 e	276 e	263	296	..	-
Municipal Waste Non-Renew.	-	-	257 e	275 e	262	296	..	-
Solid Biomass	-	-	7	43	58	65	..	-
Gas from Biomass	-	-	-	-	10	27	..	-
Liquid Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb. Renewables Non-Specified	-	-	-	-	-	-	-	-
CHP Plants	689	988	1032	1072	1211	1294	..	4.3
Geothermal	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial Waste	-	-	-	-	-	-	-	-
Municipal Waste Renew.	-	-	-	-	-	-	-	-
Municipal Waste Non-Renew.	-	-	-	-	-	-	-	-
Solid Biomass	689	987	1030	1069	1206	1286	..	4.2
Gas from Biomass	-	1	2	3	5	8	..	-
Liquid Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb. Renewables Non-Specified	-	-	-	-	-	-	-	-

Source: IEA/OECD Renewables Statistics

Note: Please refer to notes in Principles and Definitions for data coverage.

De salientar ainda que, em média, de toda a energia eléctrica produzida em Portugal, cerca de 30% são obtidos por fontes renováveis (Fonte: Eurostat - Electricity generated from renewable sources - 1990 - 2005).

Em termos de capacidade instalada de energias renováveis, verifica-se, pelos dados da Tabela 3, que a hidroeléctrica e a eólica são responsáveis por cerca de 94% do total.

Tabela 3 - Capacidade instalada de energias renováveis em Portugal (MW) (4)

	1990	1995	2000	2003	2004	2005	Average annual percent change 2006e 90-05
Total Capacity	3538	4631 e	4908	5171	5725	6476	.. 4.1
Hydro	3344	4409	4526	4588	4852	5034	.. 2.8
of which: Pumped Storage	561	561	597	597	537	537	.. -0.3
Geothermal	1	8	14	14	14	14	.. 19.2
Solar Photovoltaic	-	-	1	2	2	2	.. -
Solar Thermal	-	-	-	-	-	-	- -
Tide, Wave, Ocean	-	-	-	-	-	-	- -
Wind	1	8	83	268	553	1064	.. 59.1
Industrial Waste	-	-	-	3	3	4	.. -
Municipal Waste	-	-	64	71	71	77	.. -
Solid Biomass	192 e	205	219	224	224	273	.. 2.4
Gas from Biomass	-	1 e	1	1	6	8	.. -
Liquid Biomass	-	-	-	-	-	-	- -
Comb. Renewables Non-Specified	-	-	-	-	-	-	- -
Solar Collectors Surface (1000 m ²)	150	200	238	261	269	289	.. 4.5
Cap. of Solar Collectors (MWth) ⁽¹⁾	105	140	167	183	188	202	.. 4.5

Source: IEA/OECD Renewables Statistics

(1) Converted at 0.7 kWth/m² of solar collector area, as estimated by the IEA Solar Heating & Cooling Programme.

Diversos cenários se perspectivam no que concerne às energias renováveis nos próximos anos. Estes cenários exploram tecnologias, custos, políticas, investimentos, emissões, etc, sendo importante a sua análise pois podem fornecer informação valiosa no que concerne à definição de políticas globais em torno da produção e utilização da energia. De igual modo, vários são os caminhos que se podem perspectivar nas diferentes formas de geração de energia a partir de fontes renováveis. A componente tecnológica de cada uma delas é determinante no seu sucesso, sendo que, certamente a solução passará pela conjugação das várias formas de geração. No que se refere à energia eólica, o “Global Wind Energy Outlook 2006” (5) refere que esta fonte de energia será a dominante em termos de produção de energia eléctrica e gerará 29% (5200 TWh) das necessidades energéticas mundiais em 2030 e 34% (7900 TWh) em 2050. As limitações poderão surgir na capacidade da rede eléctrica acompanhar a evolução apresentada nesta previsão.

No que se refere à produção de energia a partir da Biomassa, os vários cenários que existem apontam para conclusões muito díspares, em parte por culpa da divergência de opiniões em dois aspectos que condicionam esta fonte energética: disponibilidade de terreno de cultivo e rendimento das culturas energéticas (6). Sobre esta matéria é sobejamente conhecida a problemática da utilização dos terrenos de cultivo de produtos alimentares para as culturas energéticas, levando ao aumento dos preços dos alimentos. Relativamente aos biocombustíveis, o estudo da IEA (7) apresenta para o ano de 2020 uma previsão de produção na ordem dos 120 000 milhões de litros de etanol o que representa cerca de 6% das necessidades de gasolina de todo o mundo e 3% das necessidades energéticas mundiais dos transportes. No caso do Biodiesel, a previsão para 2020 aponta para uma produção de cerca de 25 000 milhões de litros.

No que se refere à energia solar, a perspectiva é que a produção de electricidade a partir desta fonte seja na ordem dos 34% das necessidades mundiais em 2050 (8) igualando as quantidades de produção pela eólica.

No que se refere à produção de Hidrogénio, podemos encontrar diversas alternativas para a sua produção - gás natural, carvão e petróleo. A produção de hidrogénio a partir de combustíveis fósseis seguida do sequestro do CO₂ afigura-se como uma alternativa importante pois não dá origem a emissões de CO₂ para a atmosfera (9).

A descentralização da produção de energia não tem recolhido uma opinião unânime, embora os cenários mais inovadores apontem para essa tendência (8), apontando a energia solar e a produção combinada de calor e energia como sendo duas alternativas a considerar.

Merecem também particular atenção, as alternativas ao nível dos combustíveis para os transportes. Os combustíveis produzidos a partir de Biomassa tem a capacidade de apresentarem um potencial saldo nulo no que diz respeito às emissões de CO₂, no entanto, dependendo da forma como os combustíveis são produzidos, as emissões de CO₂ podem ser bastante díspares.

De todas estas alternativas que se nos colocam, há ainda que avaliar os impactes que cada uma delas pode causar na economia e no ambiente, sendo certo que o custo da produção de energia eléctrica a partir das novas tecnologias tenderá a diminuir ao longo do tempo, fruto da evolução do conhecimento e do desenvolvimento de tecnologias inovadoras.

4 A problemática das emissões de CO₂.

Associado ao consumo de combustíveis fósseis estão os impactos ambientais negativos, em particular, ao nível da poluição atmosférica. É hoje reconhecida, sem margem para grandes dúvidas, que o aquecimento global está associado às emissões antropogénicas de gases com efeito de estufa. A queima de combustíveis de origem fóssil para a produção de energia e na utilização nos transportes, é apontada como uma das principais causas para emissão de CO₂, CH₄ e N₂O para a atmosfera.

No que se refere aos níveis de CO₂ na atmosfera, medições demonstram (10) que a concentração deste composto, antes da revolução industrial, era de cerca de 280 ppmv. Em 2005, a concentração deste composto tinha aumentado 35%, em que o aumento mais significativo tinha ocorrido nos últimos 10 anos.

A crescente emissão de CO₂ nos últimos anos é evidente no gráfico abaixo, onde se verifica o aumento exponencial das emissões.

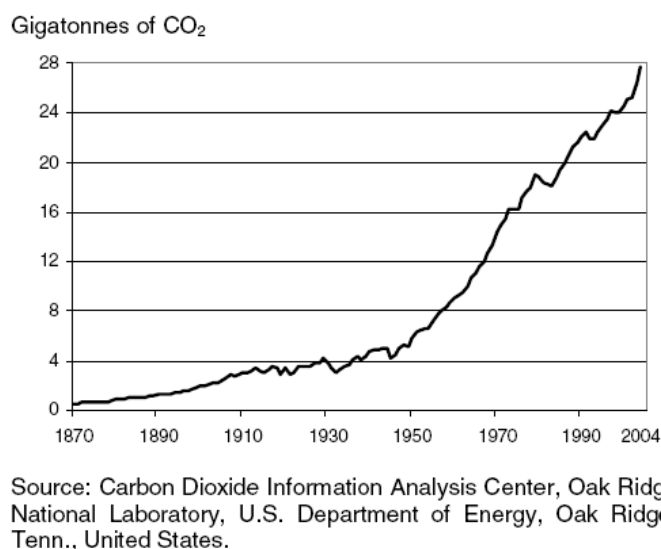


Figura 5 - Emissões de CO₂ a partir da combustão de combustíveis fósseis de 1870 a 2004 (3).

Convém, no entanto, salientar que na Europa (EU-27) as emissões de CO₂ em 2005 diminuíram 7,9% face aos valores base de 1990. Já no grupo EU-15 a diminuição foi de apenas 1,5% o que coloca a Europa 4,1 % acima do objectivo traçado com Quioto (11). Em Portugal, as emissões de CO₂ aumentaram 40.4% estando acima do crescimento permitido com Quioto que é de 27%.

É também já tomado como adquirido, o facto de as alterações climáticas serem possuidoras de uma elevada inércia levando a que emissões de hoje tenham efeitos muitos anos depois, mesmo após a estabilização da sua concentração na atmosfera. Torna-se, por isso, necessário promover a redução das emissões em larga escala, para se conseguir uma efectiva redução da

concentração na atmosfera ao longo do tempo e assim minimizar os impactes ambientais negativos que lhe estão associados.

A utilização do carvão para a produção de electricidade em países em desenvolvimento, é apontada como sendo uma das principais fontes de emissão de CO₂. A preocupação eleva-se a um expoente mais elevado, se atendermos ao facto de, em países como a China e Índia, essa fonte primária ser a que efectivamente se pode considerar como viável, pois as restantes são praticamente insignificantes para saciar as necessidades energéticas decorrentes do seu elevado ritmo de crescimento industrial.

O Protocolo de Quioto da UNFCCC (12) apresenta-se como o primeiro esforço, à escala mundial, na estabilização das emissões dos gases com efeito de estufa a um nível que impeça alterações climáticas. Foi também responsável pela introdução de mecanismos inovadores de controlo das emissões como sendo, por exemplo, a transferência de licenças de emissão de CO₂ (13). Lamentavelmente, nem todos os países ratificaram o Protocolo, sendo alguns desses países responsáveis por grande parte das emissões, pelo que o seu alcance ficará, certamente, comprometido.

Se separarmos a origem das emissões de CO₂, verificamos que em 2005, as principais eram a produção de electricidade e calor (41%), transportes (23%) e indústria (19%) (7). Esta análise torna evidente que actuação ao nível da mitigação das emissões de CO₂ tem que incidir em medidas que visem a produção de electricidade e combustíveis a partir de fontes com menor emissão de CO₂. Sabido que a produção de electricidade utiliza, em larga escala, combustíveis fósseis, a produção a partir de fontes renováveis é determinante para a minimização das emissões. No caso dos transportes, a dependência dos combustíveis fósseis é também elevada, não obstante a diversidade de biocombustíveis que já existem mas cuja expressão é ainda muito reduzida.

Esta conjuntura determina uma actuação diversificada que incida na identificação e desenvolvimento de técnicas que visem a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis - eólica, hídrica, solar - sem descurar a necessidade de encontrar alternativas aos combustíveis de origem fóssil. Num contexto de emissões de CO₂, a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis como a eólica, hídrica ou solar, apresenta-se como uma alternativa que está isenta de contribuição de emissões, contribuindo para a sua redução, pois a sua produção leva à diminuição da produção a partir de outras formas que utilizem combustíveis fósseis. No que se refere à produção de biocombustíveis, apresentam-se como uma alternativa que poderá ter um impacte nulo nas emissões de CO₂, na medida em que o CO₂ emitido na combustão destes combustíveis corresponderá à quantidade de carbono armazenada na sua produção.

Independentemente das alternativas adoptadas, deverá ser sempre promovida a utilização racional dos recursos energéticos a par com o aumento da eficiência de processos para minimizar consumos, permitindo assim reduzir as emissões de CO₂ sem reduzir a actividade industrial que lhe está associada.

A par com estas iniciativas, estão em curso outras que se baseiam na captura e armazenamento do carbono que, certamente, terão um papel muito importante na redução das emissões e dos níveis de CO₂ da atmosfera. Por exemplo, com vista à manutenção da produção de energia eléctrica a partir do carvão mas reduzindo as emissões de CO₂ que lhe estão associadas, têm-se desenvolvido alguns projectos que se baseiam na captura após combustão (PCC - “Post-Combustion Capture of CO₂”), pela qual se estima uma redução de 85% das emissões (13). Neste domínio, é importante ainda salientar as tecnologias de captura pré-combustão para a produção de hidrogénio. Desta forma, o combustível seria o hidrogénio, sendo apenas libertado vapor de água e o CO₂ seria liquefeito e armazenado para posterior utilização. Para o armazenamento do carbono, está a considerar-se a utilização de antigos poços de petróleo ou de gás natural já desactivados, onde o CO₂ ocuparia o espaço anteriormente ocupado pelos hidrocarbonetos retirados (14).

A biomassa lenhocelulósica é uma das alternativas existentes para a produção de combustíveis e também para a produção de energia eléctrica, sem comprometer as emissões de CO₂. Neste trabalho serão aprofundados os princípios e as tecnologias existentes para a produção de combustíveis ou energia eléctrica a partir de processos de conversão térmica (gasificação e pirólise) e procurará identificar-se parceiros tecnológicos que visam implementar estas tecnologias num contexto de instalação ‘chave-na-mão’.

5 A produção de energia a partir da Biomassa

É considerada Biomassa a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Tal como já foi referido anteriormente, a Biomassa constitui uma das maiores fontes de energia primária. Efectivamente, a alternativa energética Biomassa apresenta-se como um recurso muito atractivo pois trata-se de um recurso renovável podendo ser gerida a sua produção de uma forma sustentável, propiciando a redução das emissões de CO₂. Atendendo ao ciclo do carbono, as emissões de CO₂ resultantes de combustíveis produzidos recorrendo à biomassa, podem ser consideradas nulas, apresentando também reduzidas emissões de enxofre. Acresce o facto de a viabilidade das diversas possibilidades de conversão da Biomassa em combustíveis ser cada vez mais elevada, atendendo ao crescente preço do petróleo.

Actualmente são já vários os aproveitamentos energéticos que se conseguem com a Biomassa, quer ao nível da produção de energia eléctrica, quer ao nível dos biocombustíveis. A par com outros sistemas alternativos de produção de energia eléctrica por vias renováveis, a Biomassa é considerada actualmente como uma alternativa estratégica para a substituição de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução das emissões de gases com efeito de estufa. Convém ainda salientar que as reservas de petróleo são limitadas, sendo os mercados monopolizados por alguns países, o que condiciona bastante o desenvolvimento económico dos países importadores de petróleo face a esta dependência. A Biomassa pode obviar esta limitação pois a sua produção pode, virtualmente, ocorrer em qualquer país.

Em função da sua origem, podemos dividir a Biomassa em natural ou antropogénica. No caso da natural temos as florestas e os seus resíduos e, no caso da antropogénica, temos os resíduos agrícolas, municipais e industriais (papel, agroalimentar, etc) e os cultivos energéticos. Pode-se, por outro lado, classificar a biomassa em função da sua composição química em oleaginosa (girassol, colza, soja), amilácia (cereais), açucarada (cana de açúcar e a beterraba) e lenhocelulósica (constituída por celulose, hemicelulose, lignina e outros constituintes menores).

Os recursos da Biomassa são vastos, tendo o seu potencial sido avaliado por diversos estudos. Um deles (15) estima o potencial energético da Biomassa em função das várias categorias que abaixo são apresentadas:

- Produção de biomassa em terrenos agrícolas excedentários - 0 a 988 EJ.ano⁻¹;
- Produção de biomassa em terrenos excedentários degradados mas com capacidades de reflorestação - 8 a 110 EJ.ano⁻¹;

- Resíduos agrícolas - 10 a 32 EJ.ano⁻¹;
- Resíduos florestais - 10 a 16 EJ.ano⁻¹;
- Resíduos animais - 9 a 25 EJ.ano⁻¹;
- Resíduos orgânicos (por exemplo, resíduos da produção de papel e resíduos sólidos urbanos) - 1 a 3 EJ.ano⁻¹;
- Bio-materiais - 83 - 116 EJ.ano⁻¹;

Resulta daqui um potencial energético da biomassa que pode chegar aos 1130 EJ.ano⁻¹. Os valores potenciais mais elevados estão na produção de biomassa em terrenos agrícolas excedentários e os terrenos degradados com capacidade de reflorestação. São também vários os factores que condicionam os valores obtidos, como por exemplo, a produtividade dos terrenos utilizados, o tipo de espécies cultivadas, as necessidades reais de alimentos que são afectadas pela evolução da população mundial, etc.

O aproveitamento de cada uma destas fontes para a geração de energia permite concluir que seria possível atender a grande parte das necessidades energéticas mundiais a partir da Biomassa já que em termos mundiais, em 2005, foram consumidos 462.3 EJ de energia primária.

Um aspecto igualmente relevante prende-se com o elevado custo das culturas energéticas quando comparado com a utilização dos resíduos. Estima-se um custo na ordem dos 3-5€/GJ, bastante superior ao de 1-2€/GJ do carvão (16).

5.1 Processos de conversão

Os processos de conversão da Biomassa podem ser divididos em processos térmicos, biológicos e mecânicos (17). Os processos térmicos podem ser divididos em processos de combustão, gasificação e pirólise que podem dar origem a calor, gás combustível (“fuel-gas”) e óleo de pirólise (“bio-oil”). Os processos biológicos compreendem a fermentação e a digestão que podem dar origem ao etanol e ao bio-gás. Os processos mecânicos consistem em produzir óleos a partir de sementes de algumas plantas (por exemplo, a Colza).

Os processos de combustão são os mais antigos e, por conseguinte, estão bastante desenvolvidos para a produção, não só de calor, mas também de energia eléctrica.

A Gasificação consiste na oxidação parcial da biomassa, com oxigénio ou ar, para a produção de um gás (“syn-gas”) constituído por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogénio, metano e azoto.

A Pirólise consiste na decomposição térmica da biomassa na ausência de oxigénio. A pirólise é também o primeiro passo da combustão e da gasificação. A Pirólise “flash” ou “fast”, consiste na

decomposição rápida da biomassa na ausência de oxigénio a temperaturas mais reduzidas que a gasificação.

O detalhe dos processos, produtos e utilização pode ser analisado na figura 6.

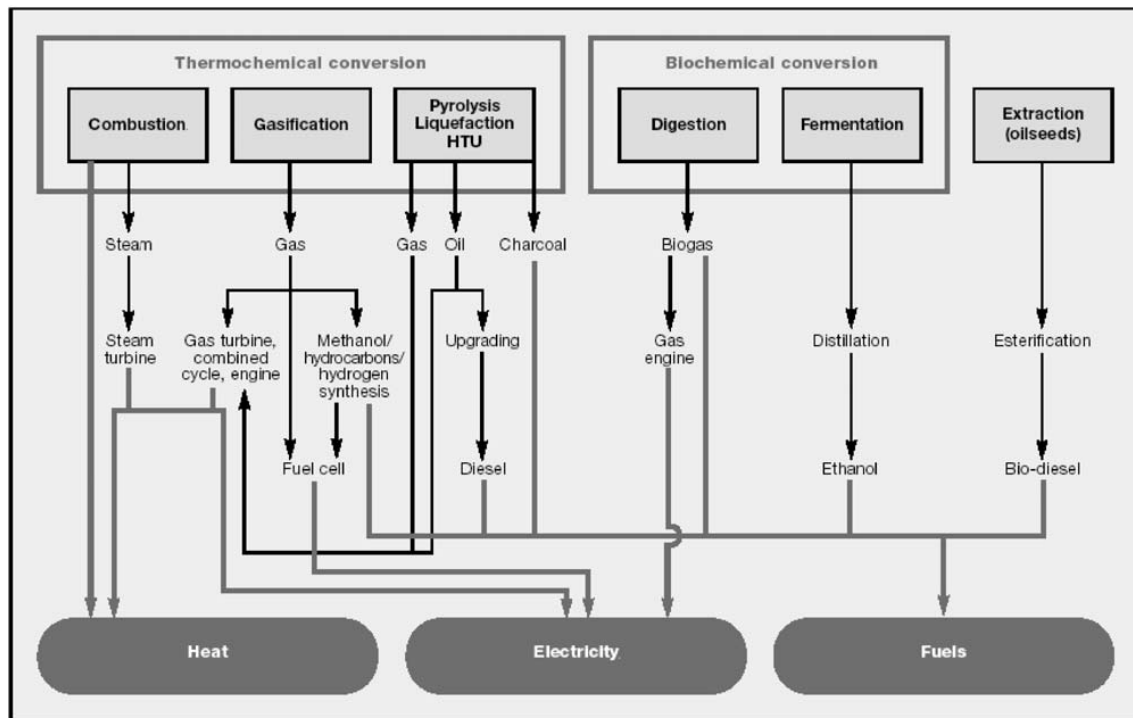


Figura 6 - Mecanismos de conversão da biomassa ((16))

No que se refere à Combustão, com o objectivo de produzir calor, são utilizadas fundamentalmente as lareiras e fornalhas com potências e eficiências reduzidas. Efectivamente, a produção de calor em ambiente doméstico é a aplicação clássica da biomassa em muitos países mas que apresenta eficiências muito baixas. A utilização de “pellets” em sistemas automáticos de queima já permite uma utilização mais eficiente desta fonte energética. As centrais de produção de energia eléctrica utilizando o vapor resultante da queima de biomassa estão amplamente difundidas por todo o mundo. Já para a produção de calor e energia eléctrica (CHP), as potências rondam os 0.1 a 1 MW_e e apresentam eficiências em torno dos 60 - 90%. Há também instalações de combustão de carvão com adição de biomassa, com potências entre 5 a 20 MW_e e com eficiências em torno dos 30-40%. Neste último caso, é comum a utilização destas unidades para a de queima de resíduos da indústria do papel.

No que se refere à Gasificação, as pequenas unidades são muito comuns, recorrendo normalmente a reactores de leito fixo, em que estão acoplados motores Diesel permitindo a geração de 100-200 kW_e mas com eficiências muito baixas (15-25%). As unidades de maior dimensão recorrem normalmente a reactores de leito fluidizado e apresentam potências que

rondam 10 - 30 MW_e com eficiências eléctricas em torno dos 15-30% (16). Na alternativa de BIG/CC (“Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine”), as potências são mais elevadas (30 - 100 MW_e) e com eficiências de 40-50%. Não obstante os diversos projectos e unidades piloto que visavam a exploração desta tecnologia, constata-se que são elevados os custos de instalação deste tipo de equipamentos (5000-3500€/kWe), longe dos 1500-2000 €/kWe que tornariam estes investimentos mais rentáveis (16).

Relativamente à Pirólise (“fast” ou “flash”), com o objectivo de produzir “Bio-oil”, apresenta conversões na ordem dos 60-70% para a fase líquida, que posteriormente pode ser sujeita a operações de “upgrade” para a produção de Biodiesel ou Hidrogénio. Alguns estudos evidenciam a potencialidade da utilização do óleo de pirólise (“Bio-Oil”) em unidades de produção de energia em substituição do Diesel, turbinas de gás e em co-combustão com carvão. Em qualquer uma das alternativas são, no entanto, necessários ajustamentos nas propriedades do óleo de pirólise que garantam também a uniformidade das suas características. Alguns aspectos construtivos dos motores requerem uma particular atenção com vista a garantir a sua perfeita funcionalidade a longo prazo (18).

No que se refere aos processos de conversão bioquímicos, a digestão anaeróbica para a produção de Bio-gás tem apresentado muita aceitação, com aproveitamentos de diversa natureza, como, por exemplo, resíduos orgânicos domésticos e industriais, estrume, etc. A Digestão apresenta eficiências eléctricas relativamente baixas (10-15%) e é particularmente apropriada em biomassa húmida. Outra fonte usual de Biogás advém dos aterros que recolhem o gás produzido, utilizando-o para a produção de energia eléctrica evitando assim a emissão para a atmosfera.

5.2 Processos de produção de biocombustíveis

Interessa referir, com mais algum detalhe, a produção de biocombustíveis, aproveitamento da biomassa onde grande actividade se tem verificado.

Neste domínio podem identificar-se vários processos, de entre os quais se destacam:

- A extracção e produção de metil/etil ésteres (Biodiesel) a partir de sementes de oleaginosas;
- A fermentação de açúcares para a produção de etanol e butanol;
- A produção de etanol a partir de biomassa lenhocelulósica;
- A produção de metanol, hidrogénio e hidrocarbonetos por gasificação ou pirólise;

5.2.1 A extracção e produção de ésteres a partir de sementes de oleaginosas

Consiste na trans-esterificação do óleo obtido de sementes como, a Colza, resultando num éster (Biodiesel), usado como substituto do Diesel ou como adição a este. Uma vez que se recorre a uma fonte renovável, o Biodiesel é uma alternativa ao Diesel produzido a partir de combustíveis fósseis, não aumentando os níveis de CO₂ na atmosfera. O processo de produção de Biodiesel origina glicerina que pode ser colocada no mercado e apresenta ainda como vantagem o facto de não apresentar enxofre e aromáticos. De salientar que o Biodiesel pode ainda ser produzido a partir de óleos alimentares usados e de gorduras de animais. No primeiro caso, as vantagens estão inerentes à possibilidade de reciclar os óleos usados evitando a poluição de água e solos decorrente da descarga deste resíduo nas redes de esgotos, rios ou no solo. A produção de Biodiesel a partir de algas tem evidenciado desenvolvimentos muito importantes apresentando potencialidades que, certamente, irão contribuir para o desenvolvimento futuro da produção do Biodiesel (19).

5.2.2 A fermentação de açúcares para a produção de etanol e butanol

Consiste em desenvolver a fermentação de açúcares obtidos, por exemplo, da cana do açúcar, milho ou cereais, para a produção de etanol. A utilização de etanol em adição à gasolina até 5% não requer qualquer alteração ao motor. Já para adições superiores, como sendo a E85 (85% de bioetanol), as mesmas são requeridas. O bioetanol tem ainda a vantagem de baixar as emissões de NO_x. Recentemente têm surgido alguns estudos que dão conta da vantagem em substituir o etanol por butanol atendendo ao seu superior conteúdo energético, baixa absorção de água, melhores capacidades de mistura e, ainda, a capacidade de utilização directa sem necessidade de alteração do motor. Estudos da DuPont e da BP indicam que este álcool tem as mesmas propriedades de base que a gasolina sem chumbo, apresentando vantagens face ao etanol em termos de possibilidade de transporte por oleodutos, estando a ponderar a conversão de unidades produtoras de etanol em unidades produtoras de butanol.

5.2.3 A produção de etanol a partir de biomassa lenhocelulósica

A biomassa lenhocelulósica é constituída, fundamentalmente, por hemicelulose, celulose e lenhina. A produção de etanol inicia-se pela hidrólise da hemicelulose e celulose, por processos de tratamento ácido ou decomposição enzimática, para a sua conversão em açúcares (glucose e frutose), seguindo-se a fermentação destes, tal como acima foi descrito. Para garantir a hidrólise da celulose e da hemicelulose, torna-se necessário separar a lenhina do material lenhocelulósico. Os processos de hidrólise não estão ainda desenvolvidos de modo a que se possam considerar economicamente rentáveis mas, se tal acontecer, estima-se que os custos de

produção de etanol estejam próximos dos custos de produção da gasolina. A utilização de resíduos de biomassa pode constituir uma fonte importante de matéria-prima e assim promover o desenvolvimento da produção de etanol. Na figura 7, apresenta-se o processo de produção de Etanol a partir de biomassa lenhocelulósica (20).

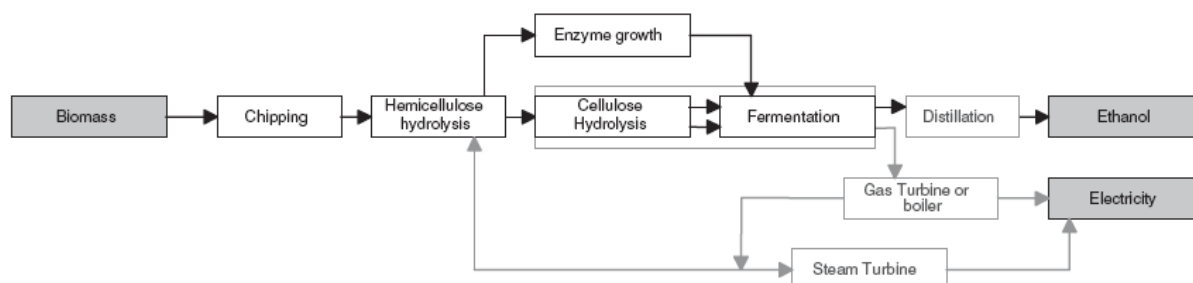


Figura 7 - Produção de Etanol a partir de Biomassa Lenhocelulósica (20).

5.2.4 A produção de metanol, hidrogénio e hidrocarbonetos por gasificação ou pirólise

Consiste na gasificação de biomassa para a produção de gás de síntese que depois é convertido em metanol sendo utilizado como combustível. Inicialmente o metanol era obtido como subproduto da produção de carvão vegetal. Actualmente o metanol é produzido a partir do gás de síntese, gás natural, carvão ou petróleo. O metanol foi usado como combustível durante anos, antes da produção, a custos muito mais reduzidos, da gasolina. Atendendo à toxicidade do metanol, o mesmo passou a ser substituído pelo etanol. É possível ainda utilizar o metanol em células de combustível para a produção de energia eléctrica.

A utilização do gás de síntese para a produção de hidrogénio ou hidrocarbonetos, por intermédio da Síntese de Fischer-Tropsch, é também outra possibilidade. Esta síntese permite a produção de metano, etano, GPL (propano e butano), gasolina e Diesel, dependendo do tipo de catalisadores e temperatura da reacção.

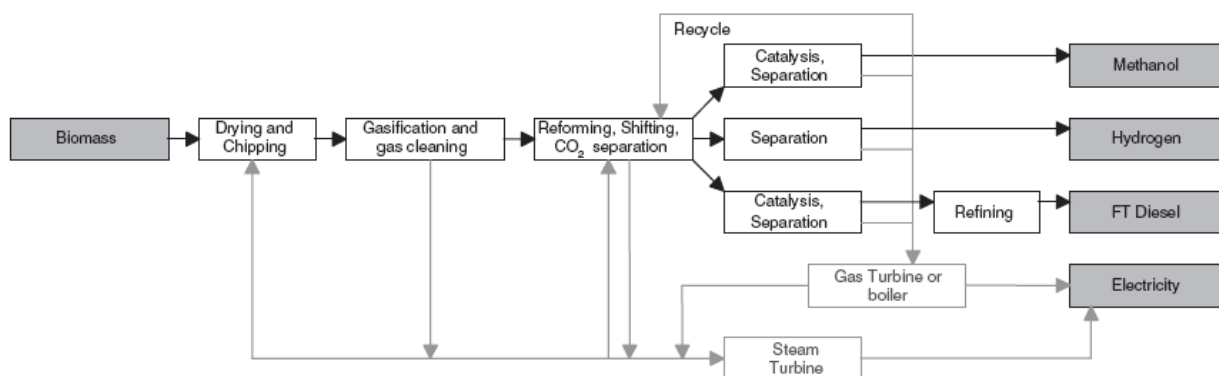


Figura 8 - Produção de Metanol, Hidrogénio Diesel e Electricidade a partir da Gasificação de Biomassa (20).

A partir da pirólise de biomassa lenhocelulósica é possível a produção de Biodiesel, fazendo o ‘upgrade’ do óleo de pirólise por hidrogenação. A produção de Hidrogénio pode ainda ser realizada por pirólise de biomassa seguida da reforma com vapor da fracção carbohidratada (21). Os desafios actuais centram-se ainda na industrialização dos processos que vão surgindo.

5.3 Os custos de produção de biocombustíveis por intermédio da Biomassa

De uma forma geral, as petrolíferas estão atentas aos desenvolvimentos que se vão efectuando ao nível dos biocombustíveis. Por esse motivo, são vários os registos que se podem encontrar de empresas petrolíferas a implementar unidades piloto de produção de combustíveis a partir de biomassa. Por exemplo, a Shell implementou uma unidade de produção de combustíveis a partir de gás natural (GTL) na Malásia. O processo consiste na produção de gás de síntese a partir do gás natural, seguindo-se a síntese de Fischer-Tropsch e, por último, a hidroisomerização para a produção de nafta e diesel. O combustível obtido desta forma é de excelente qualidade já que não contém enxofre e aromáticos e a sua combustão tem um baixo teor de partículas (22). A par com estes desenvolvimentos estão as conversões de biomassa ou carvão para a produção de combustíveis líquidos.

Matéria de inegável preocupação são os custos de produção dos combustíveis obtidos a partir de fontes não fósseis, e a sua comparação com os custos de produção dos combustíveis tradicionais recorrendo ao petróleo. Com excepção do etanol, produzido a partir de cana do açúcar, os biocombustíveis têm custos mais elevados do que os produzidos pelos processos tradicionais. Esses elevados custos decorrem do baixo valor energético das culturas, dos custos de processamento e da elevada qualidade dos terrenos agrícolas utilizados.

Prevê-se uma diminuição significativa dos custos de produção futuros para alguns dos combustíveis mais importantes. Tal decorre da previsível optimização das culturas energéticas e da evolução tecnológica dos processos de conversão. A produção de combustíveis a partir de biomassa lenhocelulósica é a que se afigura mais atractiva, atendendo à elevada rentabilidade por hectare, à baixa quantidade de energia necessária para o seu crescimento e colheita e possibilidade de crescer em terrenos agrícolas pouco nobres (20). É expectável a descida dos actuais 16-22 €/GJ_{HHV} para 9-13 €/GJ_{HHV} em 2030 se se verificar um aumento da eficiência dos sistemas produtivos actuais e o fornecimento de biomassa a 3€/GJ_{HHV} no futuro (20).

5.4 Aproveitamentos energéticos da Biomassa na Comunidade Europeia e em Portugal

Na União Europeia (UE) a utilização da biomassa representa 4% das necessidades energéticas. De acordo com a Agência Europeia do Ambiente, a UE poderia duplicar este valor se utilizasse todos os recursos disponíveis, sem, no entanto, colocar em causa as boas práticas agrícolas, a sustentabilidade da produção de biomassa e a produção de alimentos. As medidas previstas no Plano de Acção da Biomassa, publicado em Dezembro de 2005, prevêem um aumento da produção de energia pela Biomassa até 150 Mtep em 2010 (23).

Estima-se que este plano de acção permita trazer em 2010, as seguintes vantagens:

- Diversificação do abastecimento energético da Europa, aumentando a quota das energias renováveis em 5% e diminuindo a dependência da energia importada de 48% para 42%;
- Redução das emissões de gases com efeito de estufa em 209 milhões de tCO_{2eq} por ano;
- A criação de 250 000 - 300 000 empregos directos, principalmente em zonas rurais.
- Uma potencial pressão no sentido da diminuição dos preços do petróleo, devido à diminuição da procura.

As metas previstas não se revelaram viáveis, pelo que a Comissão decidiu fixar novas metas para 2020 que consistem em atingir uma cota de mercado de biocombustíveis de 10%, ao invés dos 5,75% fixados para 2010, que não serão, certamente, alcançáveis.

De acordo com o Plano de Acção da biomassa emitido em 2005, quando o preço do barril de petróleo atingisse os 75 USD (60 €), o Biodiesel tornar-se-ia rentável e o Etanol seria rentável quando o preço do petróleo chegasse aos 95 USD (76 €) por barril. À data de hoje, o barril de petróleo está a custar 120 USD, no entanto, a desvalorização do dólar face ao euro coloca o preço em cerca de 77 €. Ainda assim, será possível afirmar que a viabilidade destes combustíveis está a tornar-se uma realidade.

Por outro lado, a Directiva de Qualidade dos Combustíveis determina limites à utilização de biocombustíveis adicionados aos combustíveis tradicionais, restringindo, de certa forma, o mercado dos biocombustíveis. A Comissão está, no entanto, a preparar uma revisão a esta directiva tomando como base os impactes na saúde e no ambiente que a adopção dos biocombustíveis poderá causar. A indústria refere ainda a necessidade de se ultrapassarem algumas barreiras técnicas como sendo a impossibilidade de a gasolina com etanol não poder ser transportada em oleodutos (problemas de corrosão) e à pouca praticabilidade de produzir uma gasolina com uma menor pressão de vapor, apropriada à mistura com etanol. Talvez algumas destas contrariedades possam ser ultrapassadas com a utilização do biobutanol ao invés do bioetanol.

A Comissão alerta, no Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre a «Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre o relatório sobre os progressos realizados na utilização de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis nos Estados-Membros da União Europeia», que a utilização de biocombustíveis de primeira geração comporta problemas que comprometem os objectivos europeus, nomeadamente custos de produção e ambiental elevado, além de subtrair cereais à alimentação humana e animal, sendo, em parte, responsáveis pelos aumentos que se têm verificado nos preços dos cereais (24). A utilização de combustíveis de segunda geração colhe, no seio da Comissão, de uma maior receptividade devido aos menores impactes que têm do ponto de vista ambiental e económico.

Em Portugal, o relatório de Ponto de Situação da Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura e Pescas, emitido em 2005 pelo Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, refere que o aproveitamento energético da Biomassa Residual diz respeito à produção de calor e/ou energia eléctrica, quer a partir de Biogás produzido em processos de gestão de efluentes das pecuárias e agro-indústria, quer a partir de biomassa florestal resultante dos resíduos de exploração. Relativamente à produção de Biodiesel, as culturas utilizadas tiveram uma reduzida (girassol) ou quase nula (colza) expansão em Portugal (25). A produção de energia eléctrica a partir de Biomassa florestal consiste em duas centrais termoeléctricas, uma situada em Mortágua e outra em Vila Velha de Ródão. A central de Mortágua tem uma potência instalada de 9MW enquanto que a de Vila Velha de Ródão tem uma potência instalada de 13,2 MW. Em concurso estão ainda 15 novas centrais cuja potência rondará os 100 MW, distribuídos por dois tipos de centrais:

- Com potências de 12 MW que visam a economia de escala na produção de energia eléctrica e garantindo um maior raio de recolha de Biomassa florestal;
- Com potências de 6 MW permitindo o desenvolvimento de unidades locais de pequena dimensão numa óptica de desenvolvimento regional.

Estima-se que este reforço na produção de energia eléctrica a partir de resíduos de biomassa florestal, vá contribuir em 5% para os 45% de energia obtida a partir de fontes renováveis que o Governo estipulou como meta. Os resultados deste concurso ainda não são conhecidos na totalidade (já estão adjudicados cerca de 40 MVA). São, no entanto, conhecidos os problemas de viabilidade que alguns promotores alegam atendendo à falta de uma rede logística para recolher os resíduos florestais, temendo a inviabilidade das centrais por falta de matéria-prima. Alertam também para a necessidade de se rever em alta o valor pago pelo kW produzido para garantir a viabilidade das centrais e para evitar que a biomassa seja exportada para outros países, como a Itália e Alemanha onde o valor pago pelo kW produzido é bastante superior. O Dec.Lei 33-A de 2005 veio alterar a tarifa paga pela electricidade produzida por centrais de biomassa para assim promover este tipo de aproveitamento energético.

6 A Gasificação e a Pirólise

Tal como já foi referido anteriormente, atendendo à actividade da Jayme da Costa - Mecânica e Electricidade SA no âmbito da Energia, foi decidido pela Administração que se actuaria no sentido de identificar oportunidades de negócio no âmbito dos aproveitamentos energéticos da Biomassa pela Gasificação ou Pirólise de materiais lenhocelulósicos para a produção de energia eléctrica ou combustíveis. Foram considerados como fonte de Biomassa os resíduos florestais ou resíduos de madeira com o objectivo de produzir combustíveis que permitiam a produção de energia eléctrica ou a produção de outros combustíveis (Biodiesel ou Bioetanol).

Foram aprofundados os conhecimentos relativos aos processos de Gasificação e de Pirólise de materiais lenhocelulósicos, atendendo à sua capacidade de produzir gases combustíveis (Gasificação) ou líquidos combustíveis (Pirólise).

6.1 Gasificação

A gasificação da biomassa consiste na oxidação da biomassa para a produção de um gás constituído, principalmente, por hidrogénio e monóxido de carbono. A gasificação pode ser realizada com oxigénio ou com ar. A gasificação é uma sequência de vários processos: a primeira etapa consiste na secagem da biomassa; a segunda etapa consiste na pirólise da biomassa que ocorre a temperaturas na ordem dos 300-500°C na ausência de um agente oxidante, resultando carvão vegetal, hidrocarbonetos e gases. Na terceira etapa, os produtos resultantes da etapa de pirólise são oxidados com ar ou oxigénio para produzir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), Hidrogénio (H₂) e quantidades residuais de hidrocarbonetos. Na gasificação com vapor, o carvão vegetal é, normalmente, queimado para a produção de calor para alimentar a gasificação. A utilização de gasificação com pressão (10-15 Bar) é normalmente operada com oxigénio e permite uma maior eficiência e uma redução nos níveis de alcatrão; no entanto, é um processo mais oneroso.

Na tabela 4 podemos encontrar os diversos métodos de gasificação, assim como os principais produtos obtidos.

Tabela 4 - Métodos de gasificação (17).

Método	Produtos principais	Comentários
Oxidação parcial com ar	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , N ₂ e alcatrões.	
Oxidação parcial com oxigénio	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ e alcatrões.	A utilização de Oxigénio ao invés de ar confere ao gás produzido um maior poder calorífico (10-12 MJm ⁻³)
Gasificação com vapor em reactores de leito fluidizado com areia.	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ e alcatrões	O gás resultante tem um poder calorífico entre 15-20 MJm ⁻³ . O processo tem duas etapas. O primeiro reactor produz gás e carvão. O carvão e a areia são transferidos num segundo reactor onde o carvão é queimado com ar para reaquecer a areia que depois é reintroduzida no primeiro reactor para providenciar calor para a gasificação.

6.1.1 Tecnologias de gasificação

Podemos identificar diversos tipos de reactores usados nas operações de gasificação:

- Leito fixo em Co-corrente (Down-Draft)
- Leito Fixo em Contra-Corrente (Updraft)
- Leito fluidizado
- Leito fluidizado com circulação

6.1.1.1 Leito Fixo em Co-corrente

Os reactores do tipo Leito Fixo em Co-corrente (Down-Draft) operam à pressão atmosférica e são comuns em aplicações de baixa potência (1,5 MW_{th}). Na figura 9 representa-se um reactor desta natureza. Neste reactor, a Biomassa e o gás produzido fluem em co-corrente.

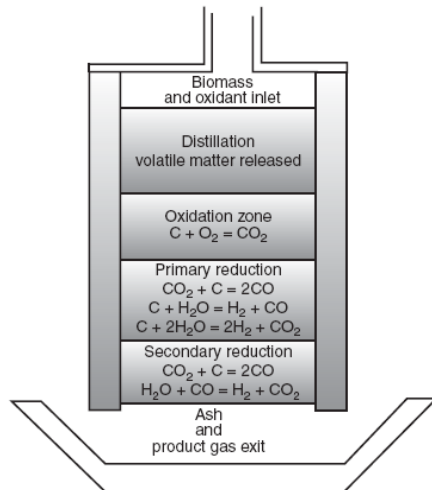


Figura 9- Reactor de gasificação em Leito Fixo em Co-corrente (26)

6.1.1.2 Leito Fixo em Contra-Corrente (Updraft)

O reator do tipo Leito Fixo em Conta-corrente (UpDraft) opera à pressão atmosférica e são comuns em instalações de maior potência que os de Leito Fixo em Co-Corrente. Na figura 10 representa-se um reator desta natureza. Neste caso, a Biomassa e o gás produzido fluem em contra-corrente. Esta configuração propicia a produção de um gás com maior poder calorífico mas também com maior concentração de hidrocarbonetos pesados pois o contacto entre o oxidante e a biomassa é mais restrito.

Em qualquer um dos tipos de reator de leito fixo, a dimensão da altura do reator não deve ultrapassar o dobro da dimensão da largura já que o fluxo de material é suportado pela própria biomassa, daí ser até aconselhável que a biomassa esteja na forma de “pellet” (10 cm).

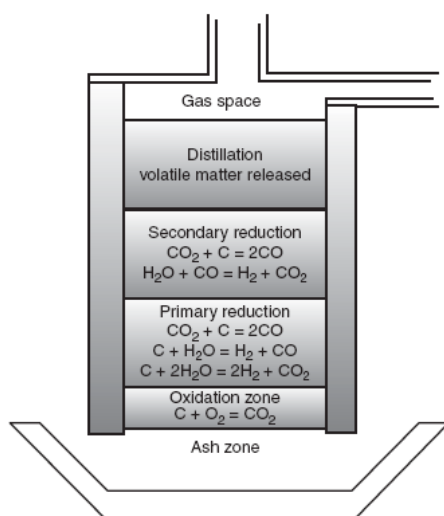


Figura 10 - Reactor de leito fixo em contra corrente (26)

6.1.1.3 Leito fluidizado

Nos reactores de leito fluidizado a biomassa é introduzida no seio de um leito de material inerte (areia) sendo o oxidante introduzido no reactor, por intermédio de um distribuidor, provocando a formação de bolhas no leito. Quando atingida a velocidade adequada, todo o leito de material é suspenso e comporta-se como um líquido favorecendo a conversão da biomassa. Normalmente estes reactores admitem diversos tamanhos de partículas de biomassa que variam entre os 200µm a 10cm. Já no que se refere às dimensões do reactor, uma vez que a movimentação do material dentro do reactor é promovida pelo leito de material inerte, estas podem ser muito mais flexíveis podendo a altura chegar a 5 vezes a dimensão do diâmetro do reactor. Este tipo de reactor está principalmente vocacionado para instalações de pequena e média dimensão (3 - 12 MWe).

6.1.1.4 Leito fluidizado com circulação

Nos reactores de leito fluidizado com circulação promove-se a introdução do gás oxidante de modo a atingir uma velocidade capaz de provocar o transporte de todo o material (leito, carvão, gás) presente no reactor. Tem que se promover a introdução da biomassa conjuntamente com o oxidante devendo a biomassa apresentar tamanhos na ordem dos 200 µm a 5 cm. À saída, um ciclone procede à separação dos gases dos restantes materiais. O material inerte (normalmente areia) é reintroduzido no reactor. Este tipo de reactor é muito comum em diversos fabricantes de gasificadores, muito devido à flexibilidade de potências que é possível explorar (10 MWe a 200 MWe). Neste tipo de reactores a dimensão da altura pode ir até 20 vezes a dimensão do diâmetro. Este tipo de reactor, se não for utilizado um meio inerte, é normalmente designado por “Entrained flow”.

A pressurização de qualquer um dos reactores (leito fluidizado ou leito fluidizado com circulação) obriga a uma instalação mais complexa, logo mais onerosa, no entanto obvia a necessidade de comprimir o gás produzido antes de entrar câmara de combustão. Nesta opção a utilização de oxigénio é preferível mas aumentando o risco inerente à exploração e também o custo da gasificação (17).

Particular atenção merece a qualidade do gás produzido atendendo aos requisitos que as turbinas impõem para a sua utilização e, também, como matéria-prima para a síntese de combustíveis líquidos. O alcatrão resultante continua a ser um dos aspectos mais críticos da gasificação havendo, no entanto, alguns estudos que avançam com a possibilidade de os tratar através de “cracking” catalítico, por exemplo, com níquel ou dolomite (27). A limpeza do gás é também um factor crítico a tomar em consideração devido à contaminação com partículas

(cinzas, carvão, material inerte do reactor) que podem ser removidas após a gasificação por filtração (24).

6.2 Pirólise

A Pirólise é uma decomposição térmica da biomassa na ausência de oxigénio. Quer a combustão quer a gasificação são precedidas de uma etapa de pirólise, só que nestes processos segue-se a oxidação total ou parcial da biomassa. Os sub-produtos resultantes, como sendo o carvão e gás são utilizados para a produção de calor para a pirólise.

O controlo do processo, ao nível da temperatura e tempo de residência da biomassa no reactor, condiciona os produtos obtidos. Na tabela 5 são referidos os vários tipos de conversões, condições de processamento e os resultados obtidos (17). A Gasificação é apresentada na tabela para efeitos de comparação.

Tabela 5 - Tipos de Pirólise, condições e produtos obtidos

Tipo	Condições	Líquido (%)	Sólido (%)	Gás (%)
Rápida	Temp.: 500°C; Tempo residência: reduzido (1 seg.)	75	12	13
Intermédia	Temp.: 500°C; Tempo residência: médio (10 - 20 seg.)	50	20	30
Lenta	Temp.: 400°C; Tempo residência: elevado	30	35	35
Gasificação	Temp.: 800°C; Tempo residência: elevado	5	10	85

Uma das desvantagens da gasificação é o facto de o produto obtido ser um gás, sendo oneroso o seu armazenamento e transporte, pelo que a gasificação leva à necessidade de acoplar, à saída, o sistema que irá utilizar esses gases. Havendo uma interrupção na reacção poderá levar à ruptura do fornecimento obrigando à paragem da instalação. A pirólise rápida (“flash”), por favorecer a fase líquida, constitui uma vantagem pois é mais fácil armazenar os líquidos resultantes. Por este motivo, a Pirólise “flash” tem colhido interesse generalizado ao nível dos processos de conversão térmica da biomassa.

Quando se pretende maximizar a fase líquida, os tempos de residência devem ser reduzidos pelo que o controlo da reacção e do fluxo de materiais no reactor é determinante para se conseguir minimizar a formação de carvão e gases. Uma das formas consiste em utilizar partículas de biomassa de tamanho muito reduzido para garantir uma rápida conversão e, ao mesmo tempo, um fácil transporte no reactor.

O processo de pirólise ‘flash’ consiste, portanto, na rápida vaporização da biomassa, a temperaturas na ordem dos 500°C, que após condensação dá origem ao óleo de pirólise ou “Bio-

oil”. A biomassa pode ser de qualquer natureza, desde lenhocelulósica a resíduos da agricultura, couros e culturas energéticas.

6.2.1 Tecnologias de Pirólise:

O processo de conversão térmica por pirólise flash consiste em 4 fases:

- Secagem da Biomassa, onde será desejável obter uma percentagem de humidade igual ou inferior aos 10%;
- Trituração da Biomassa;
- Conversão por pirólise no reactor;
- Separação do óleo de pirólise do gás e do carvão.

As condições que devem ser observadas para uma elevada conversão da biomassa em óleo de pirólise são, fundamentalmente, as seguintes:

- Utilização de biomassa de pequena dimensão (≤ 3 mm), para garantir uma eficiente conversão;
- Controlo da temperatura da reacção de pirólise, devendo rondar os 500°C e a fase vapor a 400-450°C;
- Controlo do tempo de residência da fase vapor, devendo ser inferior a 2 segundos;
- Condensação rápida dos vapores resultantes, para garantir uma máxima conversão à fase líquida;
- Promover a redução da humidade na biomassa, para reduzir a percentagem de água no óleo de pirólise resultante;

Os reactores normalmente utilizados são dos seguintes tipos:

- Leito fluidizado;
- Leito fluidizado com circulação;
- Pirólise ablativa

6.2.1.1 Leito fluidizado;

O reactor é idêntico ao que foi apresentado anteriormente nos processos de gasificação. Normalmente, este tipo de reactor apresenta uma construção simples, assim como uma operação facilitada. O desempenho típico, no que diz respeito à obtenção de líquidos, é de cerca de 70-75% em peso relativamente à entrada de biomassa seca. O tempo de residência dos sólidos e dos vapores no reactor é controlado pelo caudal gás de fluidização do leito do reactor. O carvão deve ser separado rapidamente da fase vapor para evitar a reacção com os compostos

presentes nesta fase, utilizando para o efeito um ciclone à saída do reactor. Na figura 11 apresenta-se um desenho do processo de pirólise flash em leito fluidizado.

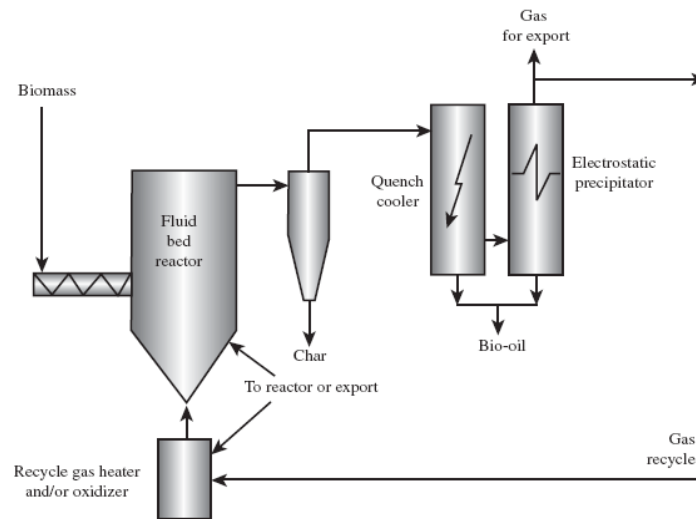


Figura 11 - Pirólise flash em reactor de leito fluidizado. (26)

6.2.1.2 Leito fluidizado com circulação;

O reator de leito fluidizado com circulação é similar ao de leito fluidizado com a diferença de o tempo de residência do carvão ser idêntico ao do vapor e do gás e, por conseguinte, se evidenciar mais carvão no óleo produzido, devido ao atrito que o carvão sofre pela maior velocidade a que está sujeito. O aquecimento é providenciado pela recirculação da areia aquecida pela combustão do carvão. Existe uma variante a este tipo de reator, o reator cónico, inventado pela Universidade de Twente e implementado pelo BTG na Holanda (17). Na figura 12 é apresentado um desenho do processo contemplando um reator cónico.

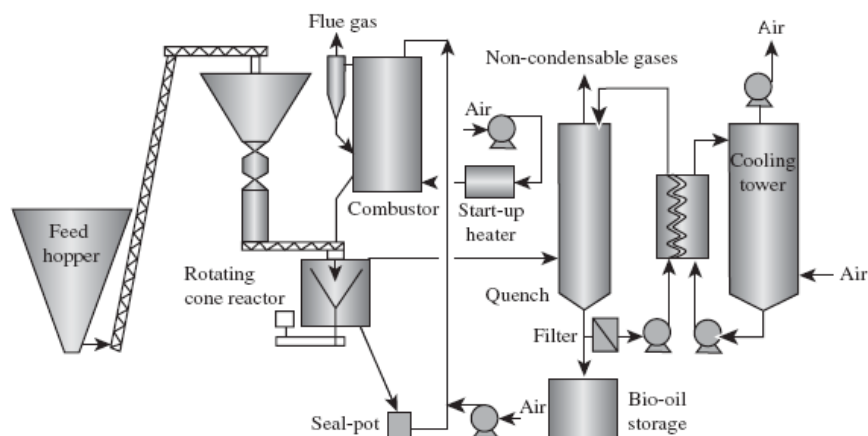


Figura 12 - Pirólise flash em reactor cónico (26)

6.2.1.3 Pirólise ablativa

Na pirólise ablativa, a biomassa é pressionada e aquecida por contacto com as paredes quentes do reactor. A biomassa é movida ao longo do reactor e à medida que se vai formando óleo este actua como lubrificante ao mesmo tempo que se vai vaporizando, sendo depois condensado como nos processos já anteriormente descritos. Atendendo às suas características, a eficiência deste processo está dependente da pressão exercida pela biomassa nas paredes quentes do reactor (normalmente obtida por centrifugação) e da velocidade relativa da partícula de biomassa e a parede do reactor. Em termos de temperatura, as paredes do reactor não devem ultrapassar os 600°C (28) (29). De salientar ainda que as velocidades de reacção não são limitadas pelo tamanho da biomassa como acontece nos outros tipos de reactores, pois a transferência de calor é que é o factor determinante. Os reactores são mecânicos não necessitando de um meio inerte.

6.2.2 Características do óleo de pirólise.

O óleo de pirólise resultante da pirólise tem uma composição elementar próxima da Biomassa. Apresenta um elevado teor de água que resulta não só da humidade da biomassa como também das reacções ocorridas durante a conversão. Em termos de poder calorífico superior (HHV, Higher heating value) apresenta valores em torno dos 16-17 MJ/kg o que corresponde a 40% do valor do Diesel/”fuel-oil” (30). Alguns estudos evidenciam a possibilidade de este líquido poder ser utilizado em substituição do diesel em motores, turbinas e caldeiras (27). Na tabela 6 são apresentadas algumas propriedades do óleo de pirólise produzido na pirólise flash e, para efeitos de comparação, o Diesel.

Tabela 6 - Comparação das propriedades do óleo de pirólise e o Diesel (27)

Propriedade		Óleo de pirólise	Diesel
Densidade	(kg/m ³ a 15°C)	1220	854
Composição	%C	48.5	86.3
	% H	6.4	12.8
	% O	42.5	-
	% S	-	0.9
Viscosidade	cSt a 50°C	13	2.5
Flash point	°C	66	70
Água	% peso	20.5	0.1
Enxofre	% peso	0	0.15

O óleo de pirólise contém diversos compostos, de entre os quais, ácido acético, formaldeído, etc. Não é solúvel em água e é miscível com o metanol e acetona, mas imiscível com

combustíveis derivados do petróleo (17). Numa utilização de substituição de Diesel, convém tomar em consideração a diferença de densidades que podem levar à revisão do dimensionamento de alguns equipamentos. A destilação do líquido de pirólise a temperaturas da ordem dos 100°C provoca a sua reacção levando à produção de um resíduo sólido e à obtenção de água e alguns compostos orgânicos voláteis. O armazenamento do óleo de pirólise durante alguns anos não indicia alterações na sua composição mas aumenta a sua viscosidade. Não obstante a possibilidade de se efectuar o ‘upgrade’ do óleo de pirólise a combustível tal não se revela, neste momento, economicamente viável. Será mais apropriado proceder à gasificação do óleo de pirólise e depois proceder à síntese de combustíveis, aproveitando assim a possibilidade de utilizar a pirólise como uma forma de criar um vector energético que pode ser utilizado em qualquer altura (17).

É de referir que a Pirólise ainda se encontra num estado menos avançado na sua exploração do que a Gasificação. Neste momento, alguns autores consideram a pirólise como sendo um processo de pré-tratamento para a redução de volume e por conseguinte facilitar o seu transporte para unidades de gasificação de maior capacidade e de elevada eficiência. A par com esta possibilidade está a utilização como combustível complementar aos combustíveis convencionais já utilizados, podendo assim actuar favoravelmente na redução das emissões de CO₂. Interessa salientar que a Gasificação e a Pirólise são sistemas que se podem complementar entre si, na medida em que proporcionam um largo leque de oportunidades no aproveitamento da biomassa. De igual modo, os restantes processos de conversão química, anteriormente abordados, podem ser englobados no conceito de Bio-refinaria - Figura 13.

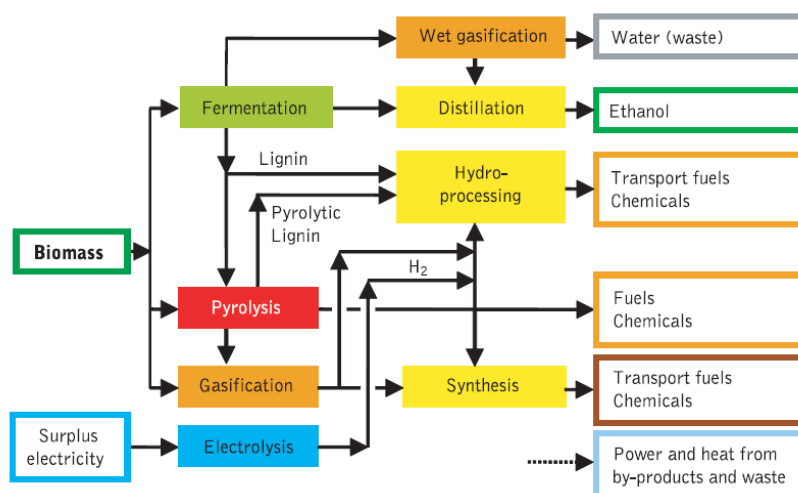


Figura 13 - Bio-Refinaria com as diversas opções no processamento de biomassa para a produção de combustíveis e produtos químicos (17).

Pode verificar-se a possibilidade de síntese de um leque vasto de produtos químicos a partir da Biomassa e recorrendo à Fermentação, Pirólise e Gasificação.

6.3 Estudo comparativo da Gasificação e da Pirólise Flash

Foi efectuada uma pesquisa no que se refere à análise comparativa dos custos de produção de energia eléctrica com recurso à gasificação e à pirólise de biomassa. Esta pesquisa demonstrou que os potenciais custos de produção de energia eléctrica são mais reduzidos quando obtidos por intermédio da pirólise flash, para instalações de menor potência (até 5 MWe), ganhando a gasificação para unidades de maior potência. Na figura 14 é possível também verificar o elevado custo que qualquer uma das tecnologias apresenta para potências até os 4 MWe (27).

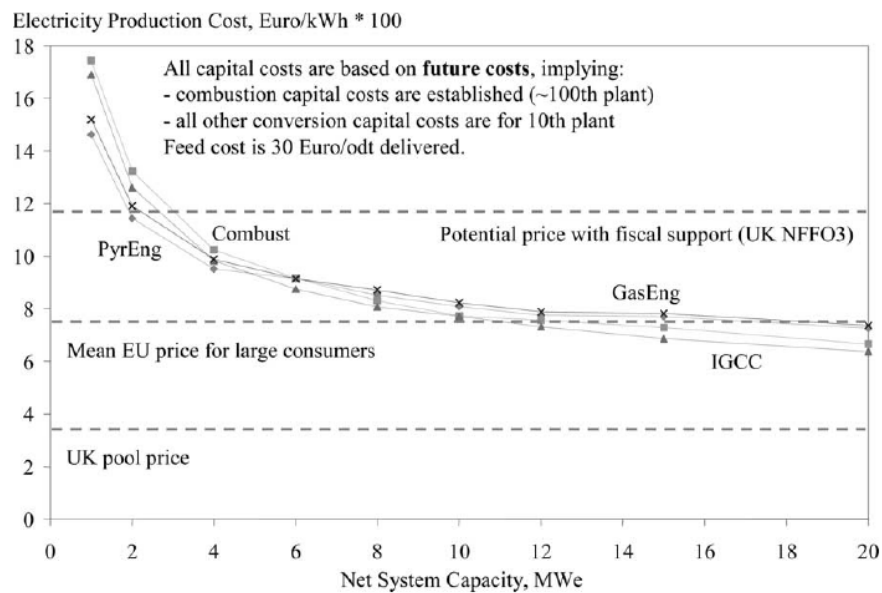


Figura 14 - Comparação dos custos potenciais de produção de energia eléctrica (27).

Evidencia-se também o potencial custo mais reduzido que apresenta a gasificação pressurizada para potências elevadas e o facto de se atingir um custo de produção mais reduzido com a pirólise flash e com a gasificação quando comparado com o sistema tradicional de combustão. Esta análise pressupõe custos futuros de produção no caso da gasificação e pirólise flash, isto é, os custos prováveis após o desenvolvimento de várias instalações e a consequente aprendizagem que lhe estará associada. Se olharmos para cada uma das tecnologias, à luz dos custos actuais, é obvio que a combustão apresenta os custos mais baixos por kW produzido. Notar, no entanto, que a pirólise flash apresenta um custo por kW produzido mais baixo que a gasificação. Na figura 15 é possível verificar o custo de produção da energia eléctrica para cada uma das tecnologias atendendo aos custos actuais e potência da instalação (27).

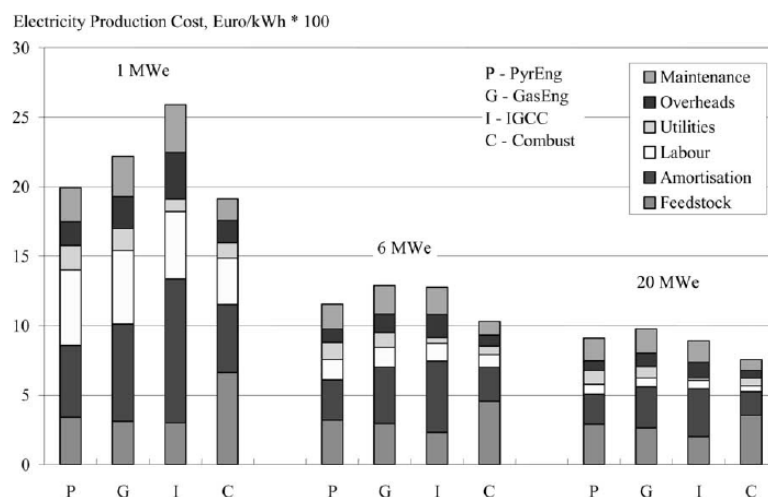


Figura 15 - Custos de produção de electricidade para cada uma das tecnologias (custos actuais)
(27)

6.4 Identificação de fabricantes de unidades de gasificação e pirólise flash

Com vista a avaliar as opções existentes no mercado e para efectuar uma análise de viabilidade deste tipo de instalações, iniciou-se a procura de fabricantes de unidades de gasificação e de pirólise flash, a partir de referências que se tinham recolhido pela pesquisa já efectuada e ainda pelos sites de fabricantes na Internet. A todos foi apresentado o propósito do contacto e solicitada a apresentação da tecnologia que utilizavam, potências disponíveis e custos de instalação, se possível, “chave-na-mão”. O custo de instalação deveria incluir o custo da instalação de preparação da Biomassa, o reactor e a unidade de produção de energia eléctrica. Os custos de ligação à rede eléctrica poderiam ou não estar incluídos, sendo que certamente esta componente seria fornecida pela Jayme da Costa.

Já nesta altura se verificou um escasso número de oportunidades que se identificaram ao nível da pirólise flash quando comparada com a quantidade de fabricantes de unidades de gasificação. O número de respostas também manteve a mesma tendência, já que se obtiveram diversas respostas ao nível da gasificação mas não se conseguiu (até este momento) respostas por parte de fabricantes de instalação de pirólise flash. No entanto, no site da internet dessas organizações, são apresentadas diversas instalações em funcionamento. Algumas referências neste sector são a BTG (Biomass Technology Group), ENSYN Corporation e a Dynamotive Energy Systems Corporation. Qualquer uma destas empresas apresenta diversos registos de instalações a efectuar a pirólise de materiais lenhocelulósicos, assim como são referenciadas diversas unidades em trabalhos científicos.

No que se refere aos fabricantes de instalações de gasificação foram obtidas diversas respostas. Foi possível identificar unidades de gasificação que se destinavam a utilizar Resíduos Sólidos Urbanos, biomassa lenhocelulósica e outros tipos de materiais orgânicos. As potências eléctricas também variaram significativamente, com fabricantes a apresentar unidades para produzir baixas potências (50 kVA) até unidades de maior potência (50 MW).

A partir de informação enviada por cada um deles e de informações recolhidas em referências complementares (31), foi possível construir a tabela 7:

Tabela 7 - Referências de Gasificadores e tecnologias utilizadas

Leito Fixo		Leito fluidizado	
‘Co-corrente’	“Contra-Corrente”	“Bubbling”	“Circulating”
ANKUR SCIENTIFIC	Wellman Process Engr.	GTI	FERCO
Power Gasifiers International	Volund	MTCI	Sludsvik Energ. AB
	Nexan	SEI	Lurgi Energy
	Sofresid- Caliqua	EPI	Aerimpianti (Ansaldo)
	Prime Energy	ASCAB/Stein Industrie	Foster Wheeler
	MARTEZO	Carbona INC.	Skydraft AB
		BECON	
		Thermostat	
		Cratech	

No seguimento das respostas que foram sendo obtidas, foi solicitada mais informação no sentido de conhecer a dimensão do construtor e referências de instalações realizadas anteriormente.

6.5 Estudo de Viabilidade Económica de uma instalação de Gasificação:

A partir das respostas obtidas, foi possível efectuar uma análise de viabilidade económica, tomando em consideração os dados de um fabricante representativo, para uma instalação típica de 2 MWe. A unidade de gasificação considerada neste estudo é de leito fixo em co-corrente (“downdraft”).

Os pressupostos considerados nesta análise de viabilidade económica foram os seguintes:

- Ponto de interligação à rede de 2 MW.
- Custo inicial da instalação: 3 362 500 €. Uma vez que este fabricante possuía unidades até 750 kW e unidades de 500 kW, foram seleccionadas duas unidades de 750kW e uma de 500kW. Esta configuração permite uma maior flexibilidade em termos de paragem decorrente de manutenção ou avarias, garantindo-se sempre alguma produção eléctrica. Neste valor já está incluído o gerador eléctrico.
- Ligação à rede eléctrica: 200 000 €. Consiste na infraestrutura de ligação à rede eléctrica.
- Equipamentos diversos: 168 125 €. Secadores, transportadores e outros equipamentos. Estimado em 5% do valor do custo inicial da instalação.
- Preço de venda por cada MW produzido: 110 €.
- Disponibilidade da instalação: cerca de 7500 horas / ano o que se traduz em cerca de 85 % do tempo.

Os custos da exploração da instalação estão a seguir descritos (matérias primas, manutenção do equipamento, etc):

- Matéria-prima: de acordo com a informação do fabricante a unidade consome 1,2 toneladas de biomassa seca para cada MWe produzido. Para as 15 000 MWe são necessárias 18 000 toneladas por ano de biomassa seca. Admitiu-se o preço de compra de biomassa em 20 € o que se traduz em 360 000 € / ano.
- Custos de operação com Mão-de-obra: A instalação funcionaria 24 sobre 24 horas e admitiu-se que seriam necessários dois colaboradores por turno, o que corresponderia a cerca de 105 120 € por ano (6 €/hora x 24 horas x 365 dias x 2 homens/dia).
- O custo de manutenção da instalação: O fabricante estimou um custo de manutenção anual de cerca de 453 750 €. No oitavo ano (após 60 000 horas de operação) é considerada uma intervenção de maior dimensão cujo preço ronda os 726 500 €.

Receitas da exploração da instalação:

- Anualmente seriam produzidos cerca de 15 000 MWe o que corresponderia a 1 650 000 €, pois o preço de venda do MW produzido é de 110 €.

À luz destes pressupostos foram determinados os custos iniciais e proveitos da instalação, apresentados, respectivamente, na tabela 8 e na tabela 9.

Tabela 8 - Custos iniciais e custos de exploração anuais.

Custos iniciais		Custos de exploração anuais	
Instalação do gasificador	3 362 500 €	Biomassa	360 000 €
Ligação à rede	200 000 €	Operação	105 120 €
Diversos	168 125 €	Manutenção	408 750 €
Total Investimento	3 730 625 €	Total Custos de exploração anuais	873 870 €

Tabela 9 - Proveitos anuais da instalação

Proveitos anuais	
Venda de energia eléctrica	1 650 000 €

Considerando uma taxa de retorno do investimento em 15% ao ano, o mesmo apresentaria um VAL positivo, ao fim do décimo ano, de 48 950 €. Neste caso, o custo variável, por MW produzido é de cerca de 52 €. Foi considerado um valor residual da instalação correspondente a 10% do valor de instalação. Na tabela 10 evidenciam-se os resultados obtidos para um horizonte de 20 anos - tempo expectável de vida da instalação -.

Tabela 10 - Cálculo do retorno do investimento da unidade de gasificação de 2MWe.

Anos	Receitas	Despesas	Investimento	Taxa	VAL
0			3 730 625 €	15% - 3 730 625 €	- 3 730 625 €
1	1 650 000 €	873 870 €	- €	674 896 €	- 3 055 729 €
2	1 650 000 €	873 870 €	- €	586 866 €	- 2 468 864 €
3	1 650 000 €	873 870 €	- €	510 318 €	- 1 958 545 €
4	1 650 000 €	873 870 €	- €	443 755 €	- 1 514 791 €
5	1 650 000 €	873 870 €	- €	385 874 €	- 1 128 917 €
6	1 650 000 €	873 870 €	- €	335 542 €	- 793 374 €
7	1 650 000 €	873 870 €	- €	291 776 €	- 501 598 €
8	1 650 000 €	1 227 620 €	- €	138 077 €	- 363 522 €
9	1 650 000 €	873 870 €	- €	220 625 €	- 142 897 €
10	1 650 000 €	873 870 €	- €	191 847 €	48 950 €
11	1 650 000 €	873 870 €	- €	166 824 €	215 774 €
12	1 650 000 €	873 870 €	- €	145 064 €	360 839 €
13	1 650 000 €	873 870 €	- €	126 143 €	486 981 €
14	1 650 000 €	873 870 €	- €	109 689 €	596 671 €
15	1 650 000 €	873 870 €	- €	95 382 €	692 053 €
16	1 650 000 €	1 227 620 €	- €	45 138 €	737 190 €
17	1 650 000 €	873 870 €	- €	72 123 €	809 313 €
18	1 650 000 €	873 870 €	- €	62 715 €	872 028 €
19	1 650 000 €	873 870 €	- €	54 535 €	926 563 €
20	1 650 000 €	873 870 €	- €	47 422 €	973 985 €
					996 779 €

Podemos assim concluir que no final dos 20 anos o retorno do investimento será de quase 1M€ ao valor actual.

Se efectuarmos uma análise de sensibilidade ao nosso investimento, considerando mais e menos 5 % na taxa, verificamos que:

- Se a taxa for de 10% o VAL positivo de 47 901€ obtêm-se ao sétimo ano. Ao fim de 20 anos o investimento já teria libertado 2 690 447 €.
- Se a taxa for de 20% o investimento não apresentaria VAL positivo até ao final do vigésimo ano.

Outro eixo que deve ser considerado, na análise de sensibilidade, é aumento do preço da matéria-prima. Se o preço da tonelada de biomassa variar em 5 € o que corresponde a uma variação de 25% face ao cenário inicial (20€), verifica-se que o projecto altera a sua viabilidade de forma significativa. No caso de aumento para 25 €, o VAL positivo do projecto só se verifica ao 14º ano com 81 468 €, ou seja, mais 4 anos. Se, por outro lado, se verificar uma redução para 15 €, o projecto obtém um VAL positivo no 6º ano com o valor de 40 337 €.

Os restantes factores não são susceptíveis de sofrerem alterações significativas que possam piorar a rentabilidade do projecto. Eventualmente os custos de manutenção poderão até ser diminuídos se se estabelecer com o fabricante um relacionamento comercial de representação em que sejam formados técnicos portugueses. A viabilidade da instalação também pode ser aumentada pelo aumento da sua eficácia, recorrendo a unidades de maior potência e, por conseguinte, com um custo por MW produzido mais reduzido.

O factor determinante para a viabilidade destes projectos está no preço da Biomassa. Pudemos verificar na análise de sensibilidade ao preço da Biomassa que este afecta, significativamente, o retorno deste tipo de investimento. Efectivamente, verifica-se uma elevada especulação no preço da Biomassa em Portugal muito devido ao facto de outros países da Europa, onde o MW produzido é pago a valores mais elevados, pagarem mais pela biomassa, aumentando assim o preço em Portugal. Poderia, assim, alterar-se este cenário de instabilidade se o preço por MW produzido fosse mais próximo do que se pratica noutros países.

A escassez de Biomassa florestal pode também funcionar como um factor limitativo à rentabilidade destas unidades, não só se ocorrer ruptura nos fornecimentos, mas também porque esta escassez iria, certamente, provocar um aumento nos preços praticados. Neste sentido, foi determinado quais seriam as necessidades de resíduos florestais para garantir o funcionamento de uma unidade desta potência (2MW). Verificamos, pelos dados do fabricante deste equipamento, que seriam necessários 1,2 toneladas de madeira seca por cada MW produzido. Isto significa, necessitarmos de 18000 toneladas por ano de madeira seca para garantir o funcionamento da instalação de 2MW.

Estudos publicados evidenciam que será expectável, no caso do Eucalipto, uma produção de 17 toneladas de resíduo florestal por cada ano e por hectare (32) (33). Logo, para a instalação em estudo, seriam necessários cerca de 1060 hectares de floresta. Outros estudos apresentam valores de produção de resíduos florestais ainda maiores, como sendo o caso da Giesta, capaz de produzir cerca de 30 toneladas por ano e por hectare (34).

Poderá assim concluir-se que os custos da limpeza dos resíduos florestais de 1000 hectares, que se traduziria em cerca de 17 000 toneladas, não poderiam ultrapassar os 340 k€ para garantir o preço de 20 € por tonelada, o que corresponde a 340 € por hectare. Os produtores alegam que os custos de recolha e transporte da biomassa rondam os 500 € o que eleva para quase 30 € o valor da tonelada de biomassa, justificando que um valor próximo dos 40 € é que lhes permitiria algum lucro. Com esse preço, o projecto não apresenta viabilidade ao fim dos 20 anos.

O custo pago pela tonelada de biomassa tem sido muito especulado pois as centrais estão dispostas a pagar 20 ou 25 € por tonelada, o que os produtores consideram insuficiente. Estima-se que a limpeza de um hectare de floresta custe cerca de 500 € o que eleva para quase 30 € a tonelada. Por esse facto, alguns produtores referem que só com valores próximos dos 40 € por tonelada é que seriam compensados pelos custos de recolha e transporte da biomassa às centrais. Acresce o facto de haver importadores que pagam mais pela biomassa para a exportar para países onde a tonelada é paga a 40 € e o MW produzido é pago a 170 € (Alemanha). Em Espanha o valor por MW produzido pode variar entre os 118 € e os 159 €. Efectivamente, se analisarmos o nosso investimento com estes valores, ou seja, 40 € / tonelada e 160 € / MW produzido, o nosso projecto apresentava um VAL positivo logo no 5º ano - os cálculos respectivos estão na tabela 11.

Tabela 11 - Estudo de viabilidade considerando 40 €/tonelada e 160 € / MW produzido

Anos	Receitas	Despesas	Investimento	Taxa	VAL	
0			3 730 625 €	15%	- 3 730 625 €	- 3 730 625 €
1	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		1 014 026 €	- 2 716 599 €
2	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		881 762 €	- 1 834 837 €
3	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		766 749 €	- 1 068 088 €
4	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		666 739 €	- 401 349 €
5	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		579 773 €	178 424 €
6	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		504 150 €	682 574 €
7	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		438 391 €	1 120 965 €
8	2 400 000 €	1 587 620 €	- €		265 568 €	1 386 534 €
9	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		331 487 €	1 718 021 €
10	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		288 250 €	2 006 270 €
11	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		250 652 €	2 256 922 €
12	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		217 958 €	2 474 880 €
13	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		189 529 €	2 664 409 €
14	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		164 808 €	2 829 216 €
15	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		143 311 €	2 972 527 €
16	2 400 000 €	1 587 620 €	- €		86 815 €	3 059 342 €
17	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		108 364 €	3 167 706 €
18	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		94 229 €	3 261 935 €
19	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		81 938 €	3 343 873 €
20	2 400 000 €	1 233 870 €	- €		71 251 €	3 415 124 €
					3 437 919 €	

Numa óptica de redução das emissões de CO₂, não deixa de ser bizarro que as disparidades de preço da biomassa e do MW produzido sejam causadoras de emissões adicionais de CO₂ por via do transporte dessa Biomassa de um país para outro. Seria, por isso, importante uma uniformização dos preços praticados para assim não se atingir um efeito contrário ao que está inerente à produção de energia com recurso à Biomassa.

Segundo dados da DGEG (35) (36), a floresta portuguesa está estimada numa área de 3 100 000 hectares. Temos, por isso, um vasto potencial de aproveitamento energético com os resíduos florestais. No entanto, tal como já foi referido anteriormente, a viabilidade das centrais de biomassa lançadas em concurso não está efectivamente garantida face à dispersão de biomassa e à inexistência de uma logística de recolha de biomassa e entrega nas centrais.

Convém ainda salientar que esta operação de limpeza seria também compensada com a minimização dos impactes resultantes de fogos florestais, pelo que os proprietários das florestas também devem tomar em consideração esta vantagem.

7 Desenvolvimentos futuros

No seguimento deste Projecto de Desenvolvimento, irão aprofundar-se os contactos já realizados com alguns dos fabricantes, no sentido de construir uma oferta do tipo ‘chave-na-mão’ para sistemas de gasificação com produção de energia eléctrica. Esta oferta englobará o estudo de viabilidade face ao tipo de biomassa disponível pelo cliente. Num dos fabricantes está a avaliar-se a possibilidade de utilizar oxigénio no processo de gasificação atendendo aos ganhos que se poderá obter ao nível do poder calorífico do gás produzido.

No âmbito de um eventual projecto de parceria, será ainda necessário estabelecer os limites de actuação que cada um dos parceiros atendendo às valências que a Jayme da Costa possui ao nível das Instalações Eléctricas e na produção de equipamentos nas suas instalações fabris em Grijó.

Perspectivando uma eventual necessidade de garantir a matéria-prima a uma unidade de gasificação, será dada particular enfoque no estudo das alternativas possíveis em termos de culturas energéticas.

De igual modo, será necessário manter um acompanhamento próximo do desenvolvimento que o mercado dos aproveitamentos energéticos da biomassa em Portugal e na Comunidade Europeia venha a apresentar, em particular nos custos da matéria-prima e o preço do MW produzido.

8 Conclusões

Na generalidade, os objectivos propostos para o Projecto de Desenvolvimento foram atingidos. As alternativas existentes ao nível do aproveitamento energético da Biomassa foram identificadas e os seus processos foram determinados.

Ao nível da Gasificação e Pirólise, as alternativas tecnológicas existentes foram determinadas e avaliadas no que confere às suas vantagens e desvantagens. Este conhecimento permitirá à Jayme da Costa avaliar as opções que lhe são apresentadas por potenciais parceiros com que venha a desenvolver contactos comerciais no futuro. Como ponto menos positivo, ficou a impossibilidade de conseguir uma alternativa ao nível da Pirólise ‘flash’ tal como se conseguiu com a Gasificação o que permitiria comparar as duas tecnologias de outra forma. Certamente, não é alheio a esta dificuldade o estado menos desenvolvido em que se encontra a Pirólise no que concerne à sua industrialização.

Do ponto de vista do estabelecimento de parcerias nesta área, os contactos ainda continuam a ser desenvolvidos, quer com empresas já identificadas quer com novas que se vão identificando. A conjuntura actual ao nível dos aproveitamentos energéticos da Biomassa determina de sobremaneira a viabilidade de projectos desta natureza, tal como foi referido ao longo deste documento. O curto intervalo de tempo que está destinado à realização desta unidade curricular, condiciona, em certa medida, os resultados que se puderam apresentar até este momento. Por exemplo, não foi possível apresentar até esta altura resultados que se irão obter decorrentes das visitas a instalações em funcionamento para melhor determinar os factores que podem propiciar o sucesso destes projectos.

Independentemente do tipo de projectos que a Jayme da Costa SA venha a desenvolver nestes domínios, agora ou no futuro, é possível concluir que a alternativa Biomassa, passará, certamente pela optimização individual de um conjunto de processos que se irão integrar num sistema de aproveitamento energético da Biomassa, desempenhando, cada um deles, um papel optimizado no fornecimento de combustíveis e energia eléctrica, de forma independente dos combustíveis fósseis. Neste contexto, não há dúvidas que a alternativa energética Biomassa e, em particular, a exploração da biomassa lenhocelulósica é uma alternativa que irá ocupar um papel de relevo no panorama das Energias Renováveis.

9 Referências Bibliográficas

1. *World Energy Outlook 2007 - China e India Insights.*; OECD/IEA, 2007.
2. *Environmental Outlook 2030.*; OECD/IEA, 2008.
3. *CO2 Emissions From Fuel Combustion 1971-2005.*; OECD/IEA, 2007.
4. *Renewables Information.* ; OECD/IEA, 2007.
5. **Greenpeace.** *Global Wind Energy Outlook 2006.* ; Greenpeace, 2006.
6. **Berndes, G., Hoogwijk, M., Broek, R.v.d.** The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*. 25 1-28, 2003.
7. *Biofuels for transport - An International Perspective.*; OECD/IEA, 2004.
8. *Energy [R]evolution - A sustainable world energy outlook.* ; Greenpeace/European Renewable Energy Council, 2007.
9. **Rojey, A., Minkinen, A., Arlie, J., Lebas, E.** Combined production of hydrogen, clean power and quality fuels. Institut Français du Pétrol (IFP), 2004.
10. **IPCC.** <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-en.pdf>. *Web site da IPCC.* [Online]
11. *Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2005 and inventory report 2007 - Submission to the UNFCCC Secretariat.*; European Environment Agency, 2007.
12. *Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change.*; United Nations, 1998.
13. *Kyoto Protocol reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amounts.*; United Nations, 2007.
14. *Energy Technology Analysis - Prospects for CO2 capture and storage.*; OECD/IEA, 2004.
15. **Hoogwijk, M., Faaij, A., Broek, R., Berndes, G., Gielen, D., Turkenburg, W.,.** Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* . 25, 119-133, 2003.
16. **Turkenburg, W.C e Faaij, A.** apud **Faaij, A.,.** Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*. 34 332-342, 2006.
17. **Bridgwater, T.,.** Review Biomass for Energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86 (1755-1768), 2006.

18. *A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae.*; National Renewable Energy Laboratory, 1998. NREL/TP-580-24190.
19. *Decreto-Lei nº 33-A/2005 de 16 de Fevereiro de 2005.*; Ministério das actividades económicas e do trabalho, 2005.
20. Hamelinck, C., Faaij, A.,. Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy*. 34 , 2006, Vols. 3268-3283.
21. Wang, D., Czernik, S., Chornet, E.,. Production of Hydrogen from Biomass by Catalytic Steam Reforming of Fast Pyrolysis Oils. *Energy & Fuels*. 19-24., 1998, Vol. 12.
22. Joly, J. e Duplan, J. Transportation fuels: new and future trends (from petroleum to biomass); J.L. Figueiredo, M.M. Pereira e J. Faria. *Catalysis from theory to application*, Cap. 10.; Imprensa da Universidade de Coimbra, 2008.
23. *Comunicado da Comissão - Plano de Acção Biomassa.*; Comissão das Comunidades Europeias, 2005. Sec 2005 - 1573. PT.
24. *Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre a «Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre o relatório sobre os progressos realizados na utilização de biocombustíveis e de outros combustíveis renováveis nos Estados-Membros UE.*; Jornal Oficial da União Europeia, 2006-845 Final (2008/C 44/10).
25. Bridgwater, A. V.,. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. *Fuel* . No.5, pp. 631-653, 1995, Vol. 74.
26. Paisley, Mark A. Biomass Energy. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 2008.
27. Bridgwater, A.V., Toft, A.J., Brammer, J.G. A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6-181-248., 2002.
28. Boukis, I., Bezergianni, S., Grammelis, P., Bridgwater, A.V. CFB air-blown flash pyrolysis. Part II: Operation and experimental results. *Fuel* . 86-1387-1395., 2007.
29. Bioenergy, IEA. Biomass Pyrolysis. T34, 2007.
30. Chiaramonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y.,. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11 (2007) 1056-1086., 2007.
31. *Assessment of the commercial potential for small gasification combined cycle and fuel cell systems phase II final draft report.*; US Department of Energy, March 2003.

32. Regueira-Núñez, L., Proupín-Castiñeiras, J., Rodríguez-Añón, J.A.,. Energy evaluation of forest residues originated from Eucalyptus globules Labill in Galicia. *Bioresource Technology* . 3-13., 2002, Vol. 82.
33. Rodríguez-Añón, J.A., Proupín-Castiñeiras, J., Villanueva-López, M., Mouriño-Carballido, B.,. Development on an experimental procedure for energy evaluation of forest communities by calorimetry and thermal analysis. *Thermochimica Acta*. 458 (2007) 5-10., 2007.
34. Regueira-Núñez, L., Proupín-Castiñeiras, J., Rodríguez-Añón, J.A.,. Energy evaluation of forest residues originated from shrub in Galicia. *Bioresource Technology*. 91 (2004) 215-221.
35. Energias renováveis em Portugal.; Ministério da Economia e da Inovação, 2007.
36. *Energia - Estatísticas Rápidas de 2004.*; Direcção Geral da Energia e Geologia, Abril de 2005.